

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA HÍDRICA**

**ANDRÉ CARLOS DA SILVA**

**APLICAÇÃO DE UM ENGENHEIRO DE REGISTRO (EDR) EM BARRAGENS  
DE ACÚMULO DE ÁGUA: BENEFÍCIOS NA SEGURANÇA**

**ITAJUBÁ**

**2022**

ANDRÉ CARLOSCARLOS DA SILVA

**APLICAÇÃO DE UM ENGENHEIRO DE REGISTRO (EDR) EM BARRAGENS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA: BENEFÍCIOS NA SEGURANÇA**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito para qualificação ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Hídrica, na área de concentração em geração hidrelétrica da Universidade Federal de Itajubá

Área de concentração: Geração Hidrelétrica.  
Orientador: Prof. Carlos Barreira Martinez  
Co-orientadora: Profa. Adinele Gomes  
Guimarães

**ITAJUBÁ**

**2022**

## RESUMO

A sociedade moderna depende fortemente do fornecimento de água em abundância e com qualidade, para isso usualmente são construídas barragens. Essas construções normalmente atraem ocupação humana nas suas regiões a jusante. Dessa forma, fica evidente que o rompimento dessas estruturas põe em risco a vida das populações locais, daí a relevância de suas seguranças. A segurança da barragem depende fortemente da estrutura organizacional, da filosofia do empreendedor e da responsabilidade técnica dos atores envolvidos. Neste sentido, esta pesquisa buscou: apresentar o conceito do Engenheiro de Registro (EdR); a sua influência na melhoria contínua da segurança; propor um plano de trabalho para este profissional, aplicado as barragens de acúmulo de água, e; fazer uma estimativa dos custos associados à sua equipe. Para tal, foi realizado um levantamento da legislação brasileira voltada à segurança das barragens de mineração e de acúmulo de água. Também foi feito um estudo sobre as diretrizes e os parâmetros de segurança de barragens em contexto internacional, o histórico e aplicação do EdR e, por fim, a condição das barragens de acúmulo de água no Brasil. Como as barragens de mineração passaram por acidentes recentes, as leis e as metodologias de segurança para estas são mais rigorosas. Assim, sob a luz desta experiência, foi proposto uma lista de ações para o EdR para barragens de acúmulo de água, dividido em duas etapas, a primeira para atendido a Política Nacional de Segurança de Barragens, e a segunda para a melhoria contínua da segurança da estrutura, além disso, foi feita uma estimativa chegando ao valor de R\$ 0,13 por m<sup>3</sup> consumido para a implantação de uma equipe de EdR.

**Palavras-chave:** Segurança de barragens, Engenharia de Registro, legislação de segurança de barragens.

## ABSTRACT

Modern society depends heavily on the supply of water in abundance and with quality, for which dams are usually built. These constructions normally attract human occupation in their downstream regions. In this way, it is evident that the rupture of these structures puts the lives of local populations at risk, hence the importance of their security. Dam safety strongly depends on the organizational structure, the entrepreneur's philosophy and the technical responsibility of the actors involved. In this sense, this research sought to: present the concept of the Engineer of Record (EoR); its influence on continuous safety improvement; propose a work plan for this professional, applied to water accumulation dams, and; estimate the costs associated with your team. To this end, a survey was carried out of the Brazilian legislation focused on the safety of mining and water accumulation dams. A study was also carried out on the guidelines and safety parameters of dams in an international context, the history and application of EoR and, finally, the condition of water accumulation dams in Brazil. As mining dams have been through recent accidents, the laws and safety methodologies for these are stricter. Thus, in the light of this experience, a list of actions was proposed for the EoR for water accumulation dams, divided into two stages, the first to comply with the National Policy on Dam Safety, and the second for the continuous improvement of safety. of the structure, in addition, an estimate was made, reaching the value of R\$ 0.13 per m<sup>3</sup> consumed for the implementation of an EoR team.

**Key words:** Dam safety, Engineer of Records, dam safety legislation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 - Evolução da legislação brasileira conforme a necessidade imposta pelos acidentes .....	17
Figura 3-2 - Organização do texto da Política Nacional de Segurança de Barragens conforme seus capítulos .....	18
Figura 3-3 - Responsabilidade dos envolvidos na segurança das barragens conforme a PNSB.....	22
Figura 3-4 - Arranjo da PNSB e a relação entre os envolvidos.....	23
Figura 3-5 : Classificação das barragens de acúmulo de água .....	30
Figura 3-6 - Matriz de classificação conforme CRI e DPA, segundo Resolução ANA nº 236/2017.....	31
Figura 3-7 - Gerenciamento de riscos aplicada na segurança de barragens.....	56
Figura 3-8 - Histórico da evolução do Engenheiro de Registro.....	75
Figura 3-9 - Sistema de Gestão RPR aplicado pela VALE em suas estruturas .....	82
Figura 3-10 - Organização das três linhas de defesa propostas pela VALE em sua gestão de segurança de barragens.....	83
Figura 3-11 : Visão Geral da barragem Brejo Grande - Paraisópolis MG .....	87
Figura 3-12 : Patologias identificadas na Barragem Brejo Grande. ....	88
Figura 4-1 – Fluxograma Metodologia aplicada na pesquisa.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 : Quadro de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água), Características Técnicas.....	25
Tabela 3-2 : Quadro de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água), Estado de Conservação.....	26
Tabela 3-3 : Quadro de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água), Plano de Segurança de Barragem.....	28
Tabela 3-4 : Quadro de classificação quanto ao dano potencial associado - DPA (acumulação de água).....	29
Tabela 3-5 : Conteúdo mínimo do PSB conforme Resolução ANA 236/2017 .....	31
Tabela 3-6 : Definição dos níveis de alerta.....	39
Tabela 3-7 – Classificação de consequências segundo CDA.....	57
Tabela 3-8 - Referência para seleção da chuva de projeto .....	59
Tabela 3-9 - Valores de referência de probabilidade de excedência anual para terremotos .....	60
Tabela 3-10 - Fatores de segurança mínimos para estabilidade dos taludes das barragens de aterro compactado .....	61
Tabela 3-11 - Fator de segurança mínimo para condições pseudo-estáticas.....	62
Tabela 3-11 – Exemplo de matriz RACI fornecido pela CDA, visando as barragens de mineração.....	63
Tabela 3-12 - Severidade dos impactos segundo ANCOLD.....	66
Tabela 3-13 - Classificação de consequência segundo ANCOLD.....	69
Tabela 3-14 - Recomendação de valores mínimos para chuva de projeto e borda livre, conforme ANCOLD .....	69
Tabela 3-15 - Fatores de segurança mínimos segundo ANCOLD.....	71
Tabela 3-16 - Parâmetros de projeto para terremotos segundo ANCOLD .....	72
Tabela 5-1 – Referência de valor de horas trabalhadas .....	109
Tabela 5-2 - Custos por metro cúbico de consumo de água para aplicação da equipe de EdR .....	110



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	SEGURANÇA DE BARRAGENS LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	15
3.1.1	Resoluções aplicadas às barragens de acúmulo de água .....	24
3.1.2	Resoluções aplicadas às barragens de mineração .....	35
3.1.3	Legislações aplicadas às barragens do Estado de Minas Gerais.....	43
3.1.4	Portarias IGAM.....	47
3.2	SEGURANÇA DE BARRAGENS INTERNACIONAL: DIRETRIZES E PARÂMETROS DE PROJETO .....	51
3.2.1	Estados Unidos .....	51
3.2.2	Canadá.....	56
3.2.3	Austrália.....	65
3.3	HISTÓRICO E DEFINIÇÃO DO TERMO ENGENHEIRO DE REGISTRO (EDR) 72	
3.4	APLICAÇÃO DO ENGENHEIRO DE REGISTRO EM SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO NO BRASIL.....	79
3.5	BARRAGENS DE ACÚMULO DE ÁGUA NO BRASIL.....	84
4	METODOLOGIA .....	90
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	94
5.1	Barragens que ainda não atendem a PNSB.....	95
5.2	Barragens que atendem a PNSB: busca pela melhoria contínua da segurança	104



5.3	Estimativa dos custos da equipe de EdR e a proposição da tarifa por metro cúbico	108
5.4	Benefícios para segurança da barragem.....	111
6	CONCLUSÕES.....	113
	AGRADECIMENTOS.....	116
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116

# 1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas dependem do fornecimento de água e, por muitas vezes de alguma forma de estruturas de barramentos. A água é necessária para a realização das mais diversas atividades, desde a obtenção de alimento, com a irrigação de culturas, até a utilização da energia elétrica. Além disso, a produção da maioria dos objetos, utensílios, ferramentas, maquinários e afins, depende de matéria prima proveniente do processo de mineração. Nesses processos as barragens estão presentes, seja para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos ou acúmulo de água.

O processo de construção da barragem necessita de uma grande quantidade de pessoas e após o barramento construído existe a tendência de ocupação humana em suas proximidades, devido a infraestrutura trazida para o local do empreendimento. Além disso, a regularização hidrológica aplicada pela barragem, permite a ocupação do leito maior do curso d'água, que é um agravante no caso da ocorrência de um acidente, uma vez que a mancha de inundação atinge rapidamente essa região (OLIVEIRA, 2014).

Entendendo o contexto da importância das barragens na sociedade, e a proximidade das ocupações humanas destes empreendimentos, verifica-se a extrema necessidade de garantir a segurança da estrutura uma vez que, em caso de seu rompimento, existe uma grande gama de possibilidades de danos, na esfera social, ambiental e econômica. Como exemplo, pode-se elencar os principais acidentes com barragens brasileiras, conforme Tshciedel et. al, 2019: UHE Pampulha (1954); Barragem Orós (1960); UHE Euclides da Cunha e Limoeiro em (1977), Poquim (1979), Santa Helena (1985) Fernandinho (1986) e Pico São Luiz (1986); Emas Novas (1995); Rio Verde (2001), Cataguases (2003), Mirai (2006), Espora (2008), Apertadinho (2008), Algodões (2009), Camará (2004); Laranjal do Jari (2014), Herculanó (2014), Analândia (2011), Boa Vista do Uru (2014), Vacarao (2014), Coronel Sapucaia (2015), Zampieri (2015), Buritis (2014), Fundão (2015), Alta Grande (2016), Fazenda Felícia (2016), Fazenda Guavirova (2016), Balneário Ayrton Senna (2016), Rincão dos Kroeff (2017), Cacimba Nova (2017), Barreiros (2017), Lageado (2017) e Brumadinho (2019). Além disso, no último Relatório de Segurança de Barragens (RSB) publicado pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) referente a 2021, foram relatados 13

acidentes e 37 incidentes (ANA, 2021), um número menor que os 44 acidentes registrados em 2020 (ANA, 2020) mas ainda significativo.

Alguns dos acidentes mencionados, possuem maior relevância quando se analisa a perda de vidas humanas, como o caso de Orós (1960). Tal barragem, localizada no estado do Ceará, foi construída no intuito de formar um açude. Na época a estrutura era uma barragem de terra (solo compactado) semi circular com 54 m de altura e 628 m de extensão, tendo o início de sua construção em 1958. No dia 22 de março de 1960, um evento pluviométrico intenso atingiu a região, verificando-se alturas de chuva da ordem de 653 mm em menos de uma semana, que fez o nível do reservatório se elevar consideravelmente. A consequência foi o início de uma erosão no centro do maciço. Foi realizada uma tentativa de se abrir um canal lateral para esvaziar o reservatório, porém outra onda de cheia atingiu a barragem no dia 25 de março e o mesmo sofreu galgamento de 30 cm. O galgamento originou uma brecha de 35m de altura e 200m comprimento, esvaziando 90% do reservatório e proporcionando uma vazão de pico de 9.600 m<sup>3</sup>/s. Nesta ocasião, estima-se o número de 1.000 vítimas fatais (Lemos *et. al*, 2019).

Na década seguinte, um acidente em cascata também recebeu grande destaque, pelos impactos associados e exposição na mídia, a ruptura das barragens Euclides da Cunha e Limoeiro em 1977, ambas localizadas no Rio Pardo em São Paulo. As barragens romperam no dia 19 de janeiro de 1977, quando uma precipitação intensa caiu sobre a região elevando o nível de água do reservatório. Problemas operacionais no sistema extravasor, mais especificamente na abertura das comportas, fizeram com que ocorresse o galgamento. Sendo assim, durante 4 horas, a barragem de Euclides da Cunha teve 1,2 m de lâmina de água sobre seu maciço. Como resultado teve-se a formação de uma brecha de 53 m de altura e 131 m de largura. Como a barragem da UHE Limoeiro se encontrava a jusante, ela foi atingida pela onda de ruptura de Euclides da Cunha, e também apresentou galgamento de 1,2 m. O resultado foi uma brecha de 35 m de profundidade e 168 m de largura. A mancha de inundação desse rompimento atingiu 4.000 residências, mas não foi registrado nenhuma perda de vida humana (Lemos *et. al*, 2019).

Mais recentemente dois acidentes com barragens de rejeito tiveram enormes repercussões pelo impacto ambiental e perdas de vidas humanas associados, que foram

os rompimentos das barragens de rejeito Fundão em Mariana (MG) e barragem de rejeitos B1 em Brumadinho (MG), sendo este último estudado no mundo inteiro. A barragem de Fundão, possuía mais de 90m de altura, e tinha passado por diversos processos de alteamento à montante. Conforme análises dos consultores especialistas contratados pela Samarco para identificação das causas do acidente, o rompimento ocorreu por liquefação devido a dois principais fatores: Presença de lamas finas entremeadas nos rejeitos arenosos, que deveriam estar sendo drenados; A mudança da posição original dos diques de alteamento para montante, posicionando o eixo das fundações dos diques sobre rejeitos arenosos com camadas de lama. A lama na fundação prejudicou a drenagem interna do maciço e facilitou os deslocamentos horizontais de rejeito. A consequência foi a liberação de 34 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito de minério de ferro, que percorreram vários rios da bacia do Rio Doce, até desaguar no oceano atlântico no estado do Espírito Santo, destruindo a biota aquática. Além disso, foram registradas 18 mortes e o desaparecimento de uma pessoa (ÁVILA, 2021).

No dia 25 de janeiro de 2019, a barragem de rejeitos B1 se rompeu. Conforme estudos realizados sobre o acidente, identificou-se que o mecanismo de falha também foi a liquefação do maciço. O mesmo havia passado pelo processo de alteamento a montante, e a técnica de lançamento da massa de rejeito ao longo dos anos, foi o aterro hidráulico. Dessa forma as partículas se sedimentaram no estado não compacto. O peso excessivo das camadas superiores sobre as camadas mais inferiores comprimiu essa região, que deu início ao processo de liquefação. Como resultado teve-se 12 milhões de metros cúbicos de rejeito lançados, percorrendo 205 quilômetros em todo vale de jusante da barragem, centenas de vidas foram perdidas, ainda existem pessoas sendo procuradas. Nesse evento o rio Paraopeba foi atingido, e 18 municípios foram afetados (MOTTA, 2022).

Visto os severos impactos causados por acidentes de barragens no Brasil, a legislação está sendo fortalecida e se tornando mais criteriosa. Como exemplo pode-se citar a nova Resolução nº 95 da ANM, que apresenta as metodologias e parâmetros mais atualizados, baseados nas principais agências internacionais voltadas a segurança de barragens. Nesta observa-se um novo conceito, a figura de um Engenheiro de Registro (EdR) que trabalha dando suporte constante ao empreendedor, propondo ações que

visam a melhoria contínua da segurança da barragem, apoiado nas boas práticas de engenharia e nos padrões internacionais (ANM, 2022).

Observando os últimos Relatórios de Segurança de Barragens (RSB) publicados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento básico (ANA), verifica-se que as barragens de acúmulo de água, se encontram em situação mais crítica do ponto de vista de segurança, uma vez que dos 44 acidentes registrados apenas no ano de 2020, 40 foram com barragens de acúmulo de água (ANA, 2020), e 12 de 13 acidentes para 2021 (ANA, 2021).

Desta forma esta pesquisa busca aplicar conceitos e metodologias adotadas pelo setor de mineração, nas barragens de acúmulo de água que hoje apresentam maior números de acidentes, destacando o papel do EdR.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa podem ser separados em gerais e específicos.

Objetivo geral:

Aplicar o conceito do Engenheiro de Registro (EdR) em barragens de acúmulo de água, mostrar sua influência na segurança das barragens e realizar uma estimativa dos custos envolvidos nessa ação.

Objetivos específicos:

- Fazer um levantamento das principais leis e normas aplicadas à segurança de barragens no Brasil e no estado de Minas Gerais;
- Realizar um levantamento do panorama, diretrizes e parâmetros internacionais de segurança de barragens;
- Propor um plano de trabalho para o EdR aplicado nas barragens de acúmulo de água;
- Apresentar uma estimativa de custo da aplicação de um Engenheiro de Registro no acompanhamento da performance de uma pequena barragem de abastecimento de água;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme apresentado anteriormente, dos maiores acidentes com barragens, os considerados mais significativos foram recentes e ambos associados à atividade de mineração. A consequência destes eventos foi um maior desdobramento da legislação, e das metodologias que envolvem a segurança das barragens de rejeito. Além disso, a própria dinâmica da construção deste tipo de barragem (constantes alteamentos), e de sua operação (manejo de rejeitos no reservatório, controle do nível de água, etc...) faz com que os processos que viabilizam a sua segurança sejam mais complexos e exigentes.

Isto posto, este estudo busca entender a legislação e as metodologias que envolvem a garantia da segurança de barragens de mineração, em contexto nacional e internacional, para então utilizar o aprendizado obtido através dos acidentes no setor de mineração na proposição de soluções que ampliem a segurança de pequenas barragens de acúmulo de água.

#### 3.1 SEGURANÇA DE BARRAGENS LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Na década de 1960, a mesma do acidente de imensas proporções causado pelo rompimento da barragem de Orós no Ceará, iniciou-se no Brasil discussões sobre o tema de segurança de barragens. Após a criação da Comissão Brasileira de Grandes Barragens, reconhecido atualmente como Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) e entidade filiada ao *International Commission on Large Dams* (ICOLD) houve uma movimentação no sentido de se estabelecer uma legislação capaz de melhorar a segurança das barragens brasileiras (MOTTA, 2022).

A partir da organização desse comitê, o Brasil ganhou espaço para participação em diversos eventos internacionais, voltados ao tema de segurança de barragens. Usualmente, estes congressos costumam apresentar estudos de caso onde o rompimento de uma barragem é estudado a fundo, dessa forma, através da observação dos acidentes ocorridos em outros países, o Brasil teve grandes ensejos para evoluir na área da engenharia de barragens, buscando soluções técnicas e legais que

beneficiassem a segurança das estruturas (MOTTA, 2022). Na década de 1980 e 1990, que conforme Tshciedel et. al, 2019 foram registrados os acidentes de Boa Esperança, Santa Helena, Fernandinho, Pico São Luiz, Macacos e Emma, o CBDB publicou uma coletânea de livros voltados aos temas de instrumentação, inspeção e diretrizes para segurança de barragens (MOTTA, 2022).

Em 1998, através da portaria nº 739/1988, o Ministério de Minas e Energia criou um grupo de trabalho com o propósito de estabelecer normas e procedimentos preventivos e de manutenção no âmbito geral da segurança de barragens. Em 1989 foi finalizado um relatório que abordava a periodicidade de inspeções de segurança, mecanismos de instrumentação e monitoramento, e procedimentos gerais a serem tomados em casos de acidentes bem como as reponsabilidades pela execução das ações (MOTTA, 2022).

Desde a criação da antiga comissão brasileira de grandes barragens na década de 1960 até a década de 1990 foram registrados pelo menos 10 eventos de consideráveis proporções (GUIDICINI *et al.*, 2021), visto este cenário, em 1996 o atual CBDB confeccionou uma minuta de Portaria do Ministério de Minas e Energia, no intuito de propor um Conselho Nacional de Segurança de Barragens (CNSB) e criar as diretrizes para a avaliação da segurança das barragens, o que não foi aceita pelo governo. Três anos depois, em 1999, o Guia Básico de Segurança de Barragens foi elaborado pelo CBDB (MOTTA, 2022).

A elevada produção de minérios, às rupturas das barragens e a atuação dos órgãos fiscalizadores e reguladores no Estado de Minas Gerais resultaram no primeiro programa para o acompanhamento da situação das barragens (criado no ano de 2002), denominado Programa de Gestão de Barragens, implementado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). Tal programa teve extrema relevância uma vez que trouxe a obrigatoriedade da classificação e das auditorias técnicas de segurança nas barragens mineiras (MOTTA, 2022).

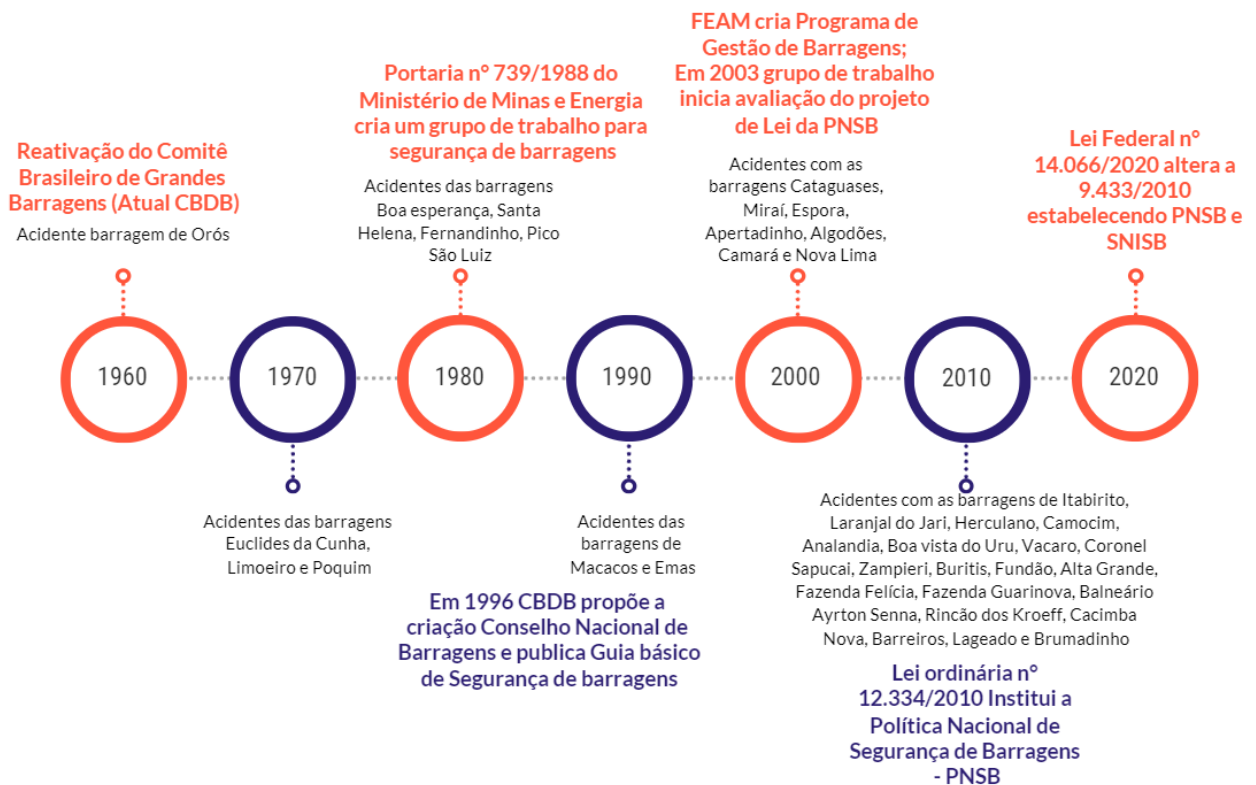
No ano de 2003, após o acidente com a barragem Cataguases no Estado de Minas Gerais (JESUS, 2021) o Governo Federal designou outro grupo de trabalho na área de segurança de barragens, desta vez dentro da câmara técnica de análise de projetos vinculada ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos. O intuito do grupo composto por técnicos da Agência Nacional de Águas, Ministério da Integração Nacional, Ministério de



Minas e Energia, Comitê Brasileiro de Barragens, Empresas geradoras de energia, Ministério do Meio Ambiente, Defesa Civil, Exército e representantes da sociedade civil (Comitês de Bacias) foi avaliar o projeto de Lei nº 1.181/2003 – Legislação que buscava definir a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB (OLIVEIRA, 2014).

Este projeto de Lei (proposto em 2003 pelo Deputado Leonardo Monteiro), resultou enfim na Lei Ordinária nº 12.334 na data de 20 de setembro de 2010, que após os acidentes de Brumadinho e Mariana foi alterada pela Lei Federal nº 14.066/2020, estabelecendo a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e o Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens (SNISB) (JESUS, 2021). Uma síntese dos acontecimentos envolvendo movimentos na legislação brasileira e a relação com os principais acidentes de barragens é mostrado na Figura 3-1.

Figura 3-1 - Evolução da legislação brasileira conforme a necessidade imposta pelos acidentes



Fonte: Adaptado de Guidicini *et al.* (2021), Jesus (2021), Motta (2022), Oliveira (2014)

A definição da PNSB no Brasil foi uma grande quebra de paradigmas, uma vez que estabeleceu uma cadeia completa de responsabilidades relacionada a segurança de nossas barragens, e preencheu um vazio institucional (JESUS, 2021). Para melhor entender a organização da PNSB pode-se observar a Figura 3-2.

Figura 3-2 - Organização do texto da Política Nacional de Segurança de Barragens conforme seus capítulos



Fonte: Adaptado de Brasil (2010)

Atualmente, tal política se aplica a todas as barragens de acumulação de água (para quaisquer usos), disposição final ou temporária de rejeitos e acumulação de resíduos industriais que se enquadrem em pelo menos um dos cinco requisitos a seguir: Altura do maciço maior ou igual a 15 m (medindo-se da crista ao encontro do pé do talude de jusante com o terreno natural); Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3 milhões de metros cúbicos; Reservatórios que contenham resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; Categoria de dano potencial associado (DPA) médio ou alto,

em termos econômicos, sociais, ambientais, ou de perda de vidas humanas e por fim Categoria de risco (CRI) alto, a critério do órgão fiscalizador (BRASIL, 2010).

A PNSB trouxe para o ambiente de segurança de barragens do Brasil conceitos extremamente necessários que visam a gestão integrada. Isto é verificado uma vez que o seu objetivo é definido como: i) garantir a observância de padrões de segurança de barragens buscando prevenir e reduzir a possibilidade de acidente ou desastre; ii) regulamentar as ações de segurança que devem ser adotadas em todas as etapas do ciclo de vida da barragem, da construção a descaracterização; iii) promover o monitoramento e acompanhamento das ações de segurança implementada pelos responsáveis pelas barragens; iv) criar condições para o poder público controle a segurança das barragens baseado em orientação, correção de ações de segurança e fiscalização; v) reunir informações que sustentem o gerenciamento da segurança das barragens por parte do governo; vi) estabelecer padrões de natureza técnica que permitam o poder público avaliar a adequação das condições de segurança; vii) impulsionar a gestão de riscos e cultura de segurança, e por fim; viii) definir procedimentos emergenciais e incentivar a ação conjunta dos empreendedores, fiscalizadores e órgão de proteção civil (BRASIL, 2020).

Para atender tais objetivo, os órgãos ambientais que integram o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) foram estabelecidos como fiscalizadores pela PNSB, além disso, a mesma ainda possui 10 instrumentos, sendo estes (BRASIL, 2020):

- I - Sistema de classificação de barragens por CRI e DPA;
- II – O Plano de Segurança da Barragem (PSB) que deve possuir Plano de Ação Emergencial (PAE) incluso;
- III – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);
- IV – Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (Sinima);
- V - Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
- VI – Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;
- VII – Relatório de Segurança de Barragens;
- VIII – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH);

IX - Monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência;

X - Guias de boas práticas em segurança de barragens.

O primeiro instrumento, classifica as barragens quanto ao risco obrigando o corpo técnico que irá realizar essa atividade, a estudar as condições da estrutura pelo ponto de vista de suas características técnicas, métodos construtivos, estado de conservação, idade, atendimento ao PSB e demais solicitações dos órgãos fiscalizadores. Ainda a classificação quanto ao dano potencial associado exige que seja feita uma análise quanto ao potencial de perdas de vidas humanas, impactos econômicos, sociais e ambientais no caso de uma ruptura da barragem. Cada um dos critérios de classificação pode definir a barragem como alto médio ou baixo, e cabe aos órgãos fiscalizadores exigir que o empreendedor tome ações que reduzam o CRI e o DPA da barragem (BRASIL,2010). Dessa forma, cada órgão fiscalizador define diversas ações baseadas no CRI e DPA das barragens sob sua jurisdição, sendo a classificação um instrumento base para tomada de decisão.

O segundo instrumento é o PSB, este é um extenso documento que obriga o empreendedor a apresentar uma série de estudos fundamentais para a segurança da estrutura. O processo de elaboração do PSB leva ao conhecimento detalhado da barragem, e seu resultado contribui para o aumento da segurança, uma vez que uma série de informações é organizada. Sendo assim, seu conteúdo mínimo aborda: os dados técnicos relacionados a implantação do empreendimento, a qualificação técnica da equipe de segurança da barragem, os manuais e roteiros de inspeção e monitoramento, regras operacionais de sistemas vertedores, a indicação de áreas e locais de acesso que não podem ser ocupados, com exceção dos locais indispensáveis para a manutenção, o PAE, relatórios de inspeção de segurança regular e especial, revisão periódica de segurança, identificação e avaliação de riscos, mapa de inundação, dados técnicos das estruturas das instalações e dos equipamentos de monitoramento (BRASIL,2010).

A periodicidade e o detalhamento do PSB das barragens ficam a cargo de cada órgão fiscalizador, e usualmente os órgãos fiscalizadores se apoiam na classificação das

estruturas quanto ao CRI e DPA, para estabelecer estes parâmetros, sendo assim, fica nítido a sinergia entre os instrumentos propostos pela PNSB.

Os órgãos fiscalizadores ainda, além de classificar as barragens conforme os critérios gerais definidos pelo CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos), possuem a responsabilidade de fiscalizar e manter o cadastro das estruturas, definir a necessidade de se elaborar o PAE, avisar a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e ao Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) uma não conformidade que possa resultar em um risco imediato de rompimento (JESUS, 2021).

Tais órgão fiscalizadores, são divididos conforme os tipos de uso da água, e os cursos d'água em que os barramentos se encontram. Sendo assim, para rios federais e barragens de usos múltiplos da água a ANA se responsabiliza como órgão fiscalizador. Nos estados as barragens em rios estaduais ficam sob fiscalização de cada órgão relacionado aos recursos hídricos. Já as estruturas voltadas para geração de energia elétrica, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) se responsabiliza pela fiscalização. A Agência Nacional de Mineração (ANM) antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) fica com a responsabilidade de fiscalizar as barragens voltadas aos rejeitos minerais, e a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) fiscaliza as barragens que se relacionam com energia nuclear (JESUS, 2021). Para melhor entender as responsabilidades definidas pela PNSB para as partes envolvidas, pode-se verificar a Figura 3-3.

Figura 3-3 - Responsabilidade dos envolvidos na segurança das barragens conforme a PNSB

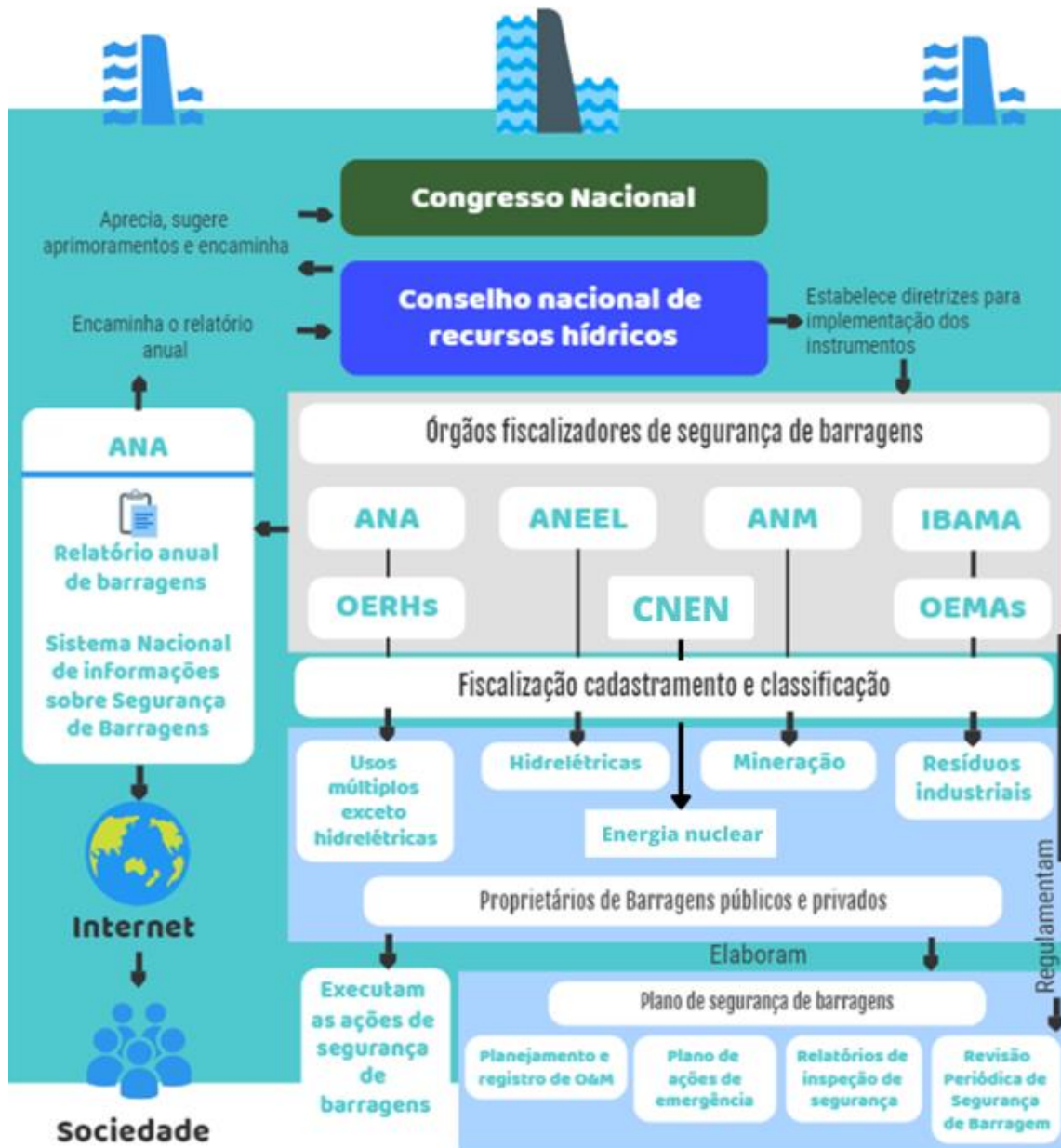


Fonte: Adaptado de Brasil (2010)

Ainda, a Figura 3-4, demonstra como todos os envolvidos se relacionam conforme propõem a PNSB, dos órgãos envolvidos a sociedade (BRASIL, 2020). Nesta figura, OERHs significa órgãos estaduais de recursos hídricos, e OEMAs são os órgãos estaduais de meio ambiente. O CNRH é instância máxima da hierarquia do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil, sendo responsável pela implementação da gestão dos recursos hídricos.

Figura 3-4 - Arranjo da PNSB e a relação entre os envolvidos

# ARRANJO DA PNSB



Fonte: ANA (2013) Apud JESUS (2021)

Como apresentado anteriormente a PNSB estabelece as diretrizes gerais, e deixa a cargo dos órgãos fiscalizadores o cadastramento, classificação e fiscalização das barragens. Dessa forma se faz necessário entender as resoluções em vigor dos principais órgãos, que são apresentadas a seguir (BRASIL, 2020).

### 3.1.1 Resoluções aplicadas às barragens de acúmulo de água

Uma das primeiras movimentações da ANA no sentido de atender as solicitações da PNSB foi a publicação da Resolução nº 742 de 12 de outubro de 2011. Nesta ocasião a ANA deliberou sobre as inspeções de segurança regulares nas barragens sob sua jurisdição (conteúdo mínimo, qualificação da equipe técnica, periodicidade e nível de detalhamento). Em seguida, no dia 2 de abril de 2012, a ANA publicou a Resolução nº 91, dispendo sobre o Plano de Segurança da Barragem (PSB), e a Revisão Periódica de Segurança da Barragem (RPSB), também no sentido de definir a periodicidade de atualização, conteúdo mínimo, nível de detalhamento e a qualificação do responsável técnico. Ainda, no dia 22 de fevereiro de 2016 a ANA publicou a Resolução nº 132 estabelecendo os critérios de classificação das barragens sob sua responsabilidade, quanto a categoria de risco e dano potencial associado, em complemento aos critérios já estabelecidos pela resolução CNRH nº 143/2012 (JESUS, 2021).

Por fim, a ANA publicou a Resolução nº 236 de 2017, que revogou as Resoluções nº 742, nº 91 e nº 132. Esta resolução é a vigente no momento, e delibera sobre a qualificação dos responsáveis técnicos, periodicidade de atualização ou execução, o nível de detalhamento e conteúdo mínimo do PSB, das inspeções de segurança regulares, do RPSB, e do PAE, além de incluir os artigos 11º e 12º da PNSB (JESUS, 2021).

É de suma importância ressaltar que o governo brasileiro está elaborando uma nova matriz de classificação, que foi assinada em dezembro de 2022, e em breve será lançada de forma oficial.

Dessa forma, atualmente, a resolução ANA nº 236/2017 define os seguintes critérios, para as barragens de acumulação de água (ANA, 2017):



- Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial associado (DPA)

A classificação destes critérios, seguem inicialmente os quadros II.1 e II.2. e o anexo II da Resolução nº 143/2012 do CNRH sendo estes (Tabela 3-1 a Tabela 3-3 e Tabela 3-4):

Tabela 3-1 : Quadro de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água), Características Técnicas

II.1 QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)					
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)
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)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)
30m ≤ 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)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole /saprólito/ solo compactado (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-

CT = Σ (a até f):	
-------------------	--

Fonte: CNRH (2012)

Tabela 3-2 : Quadro de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água), Estado de Conservação

II.1 QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)					
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 hidroeletrromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrromecânicos 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 hidroeletrromecânicas preparadas para operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem risco a estrutura vertente (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão 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 hidroeletrromecânicas bem mantidas e funcionando (1)

II.1 QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)					
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 hidroeletrmecânicos com problemas identificados com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrmecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrmecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrmecânicos 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 hidroeletrmecânicos com problemas identificados e sem medidas de corretivas (4)

EC = $\sum$ (g até l):	
------------------------	--

Fonte: CNRH (2012)

Tabela 3-3 : Quadro de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água), Plano de Segurança de Barragem

II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)				
3 - PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM - PS				
Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos rotineiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação ®
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
inexiste documentação de projeto (8)	-	-	-	-

PS = $\Sigma$ (n até r):	
--------------------------	--

Fonte: CNRH (2012)

Tabela 3-4 : Quadro de classificação quanto ao dano potencial associado - DPA (acumulação de água)

II.2 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)			
Volume Total do Reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Pequeno < = 5 milhões m <sup>3</sup> (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m <sup>3</sup> (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m <sup>3</sup> (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada e jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 milhões m <sup>3</sup> (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-

DPA = Σ (a até d):	
--------------------	--

Fonte: CNRH (2012)

Figura 3-5 : Classificação das barragens de acúmulo de água

<b>ANEXO II</b>		
<b>QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA</b>		
<b>NOME DA BARRAGEM:</b>		
<b>NOME DO EMPREENDEDOR:</b>		
<b>DATA:</b>		
<b>II.1 - CATEGORIA DE RISCO</b>		
	<b>Pontos</b>	
1	Características Técnicas (CT)	
2	Estado de Conservação (EC)	
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS</b>		<b>0</b>
	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	<b>CRI</b>
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	> = 60 ou EC* > =8 (*)
	MÉDIO	35 a 60
	BAIXO	< = 35
(*) Pontuação (maior ou igual a 8 ) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.		
<b>II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>		
	<b>Pontos</b>	
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	
	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	<b>DPA</b>
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	> = 16
	MÉDIO	10 < DPA < 16
	BAIXO	< = 10
<b>RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:</b>		
	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	Alto / Médio / Baixo
	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	Alto / Médio / Baixo

Fonte: CNRH (2012)

- Matriz de classificação

Conforme se classifica a barragem quanto ao CRI e DPA, a Resolução ANA nº 236/2017 ainda define uma classe para a barragem conforme a Figura 3-6.

Figura 3-6 - Matriz de classificação conforme CRI e DPA, segundo Resolução ANA nº 236/2017

**ANEXO I- Matriz de Classificação**

<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>		
	<b>ALTO</b>	<b>MÉDIO</b>	<b>BAIXO</b>
	<b>O</b>		
<b>ALTO</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>MÉDIO</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>BAIXO</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>D</b>

Fonte: ANA (2017)

- Conteúdo mínimo do PSB (que inclui o RPSB e o PAE)

A Resolução ANA nº 236/2017, define o conteúdo mínimo do PSB, conforme o anexo II. Como o RPSB e PAE são itens que devem constar no PSB, o conteúdo mínimo destes relatórios também estão contemplados neste anexo, conforme mostra Tabela 3-5.

Tabela 3-5 : Conteúdo mínimo do PSB conforme Resolução ANA 236/2017

<b>Volumes</b>	<b>Conteúdo mínimo</b>	
Volume I Informações Gerais	1	Identificação do Empreendedor
	2	Caracterização do empreendimento
	3	Características técnicas do projeto
	4	Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes
	5	Estrutura organizacional, contatos dos responsáveis e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem
	6	Quando for o caso, identificação da entidade responsável pela regra operacional do reservatório
	7	Classificação da barragem quanto a categoria de risco e quanto ao Dano potencial Associado

Volumes	Conteúdo mínimo	
Volume II Documentação Técnica do empreendimento	1	Para as barragens construídas antes de 21/09/2010: Projetos em nível básico e/ou executivo. Na inexistência, estudos simplificados no que se refere a caracterização geotécnica do maciço, fundações e estruturas associadas, levantamento geométrico (topografia) e estudo hidrológico hidráulico das estruturas de descarga;
	2	Para barragens construídas após 21/09/2010: Projeto como construído ( <i>As Built</i> );
	3	Manuais dos Equipamentos;
	4	Licenças ambientais, outorgas e demais documentos legais.
Volume III Planos e procedimentos	1	Regra operacional dos dispositivos de descarga
	2	Planejamento das manutenções
	3	Plano de monitoramento e instrumentação
	4	Planejamento das inspeções de segurança da barragem
	5	Cronogramas de teste de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos
Volume IV Registros e controles	1	Registro de operações
	2	Registro de manutenções
	3	Registro de monitoramento e instrumentação
	4	Registro de testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos
	5	Relatórios de Inspeções de Segurança de Barragem devendo conter:
	a	Identificação do representante legal do empreendedor
	b	Identificação do responsável técnico pela elaboração do Relatório e respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica
	c	Ficha de inspeção visual preenchida, englobando todas as estruturas da barragem e indicação de anomalias
	d	Avaliação e registro, inclusive fotográfico, de todas as anomalias encontradas, avaliando suas causas, desenvolvimento e consequência para a segurança da barragem;
	e	Comparação com os resultados da Inspeção de Segurança Regular anterior
	f	Avaliação das condições e dos registros da instrumentação existente
g	Classificação do NPGB (Normal, Atenção, Alerta ou Emergência)	
h	Assinatura do responsável Técnico pela elaboração do Relatório	
i	Ciente do representante legal do empreendedor	
Volume V Revisão Periódica de Segurança de Barragem	1	Resultado da Inspeção de Segurança Especial da barragem e de suas estruturas associadas
	2	Reavaliação do projeto existente com análise conclusiva da estabilidade da barragem, de acordo com os critérios de projeto aplicáveis à época da revisão
	3	Atualização das séries e estudos hidrológicos e confrontação desses estudos com a capacidade dos dispositivos de descarga existentes, se pertinentes
	4	Reavaliação dos procedimentos de operação, manutenção, testes, instrumentação e monitoramento
	5	Reavaliação do plano de ação de emergência - PAE, quando for o caso
	6	Revisão dos relatórios anteriores das Revisões Periódicos de Segurança de Barragem
	7	Considerações sobre eventual reavaliação da classificação quanto a CRI e DPA
	8	Conclusões sobre a segurança da barragem



Volumes	Conteúdo mínimo	
	9	Recomendações de melhorias a implementar para reforça da segurança da barragem
	10	Estimativa preliminar dos custos e prazos para implantação das recomendações
	11	Resumo Executivo, contendo:
	a	Identificação da barragem e empreendedor
	b	Identificação do Responsável Técnico pela Revisão Periódica
	c	Período de realização do trabalho
	d	Listagem dos estudos realizados
	e	Conclusões
	f	Recomendações
	g	Plano de ação de melhorias e cronograma de implantação das ações indicadas no trabalho
Volume VI Plano de Ação de emergência	1	Apresentação e objetivo do PAE
	2	Identificação e contatos do Empreendedor, Coordenador do PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificação
	3	Discrição geral da barragem e estruturas associadas, incluindo acessos à barragem e características hidrológicas, geológicas e sísmicas
	4	Recursos matérias e logísticos na barragem
	5	Classificação das situações de emergência em potencial conforme Nível de Resposta
	6	Procedimentos de notificação (incluindo o Fluxograma de Notificação) e Sistema de Alerta
	7	Responsabilidade no PAE (Empreendedor, Coordenador do PAE, Equipe Técnica e Defesa Civil)
	8	Síntese do estudo de inundação com os respectivos mapas, indicação da ZAS e pontos vulneráveis potencialmente afetados
	9	Plano de Treinamento do PAE
	10	Meios e recursos disponíveis para serem utilizados em situações de emergência em potencial
	11	Formulários de declaração de início da emergência, de declaração de encerramento da emergência e de mensagem de notificação
	12	Relação das entidades públicas e privadas que receberam cópia do PAE com os respectivos protocolos de recebimento

Fonte: ANA (2017)

- Periodicidade e atualizações

A seção II do capítulo II da Resolução ANA nº 236/2017 define que o PSB deve ser elaborado para barragens novas, antes do primeiro enchimento. E que o mesmo deve estar disponível para a equipe de segurança da barragem, defesa civil e a ANA. Quando houver uma alteração na barragem a ANA irá estipular um prazo para adequação do PSB. Além disso o PSB deverá ser atualizado conforme as atividades de operação, monitoramento, realização das inspeções de segurança (regular e especial),

manutenções, atualização de PAE e RPSB, registrando os relatórios, exigências e recomendações.

Ainda a seção II do capítulo III da Resolução ANA nº 236/2017 define que a inspeção de segurança regular (ISR) deve ser realizada no mínimo uma vez ao ano. Caso a barragem seja classificada como “D” o empreendedor poderá realizar a ISR de forma bienal.

Na ISR o nível de perigo global da barragem (NPGB) deve ser definido, seguindo as orientações do art. 12 da Resolução ANA nº 236/2017, caso o NPGB seja classificado como Emergência, a ANA e a defesa civil devem ser avisadas imediatamente.

A realização da Inspeção de segurança especial da barragem (ISE) é definida conforme a seção II do Capítulo IV da Resolução ANA nº 236/2017. Tal inspeção ocorre em função de eventos especiais como: NPGB classificado como Alerta ou Emergência; Antes do primeiro enchimento; na realização do RPSB; Deplecionamento rápido do reservatório; Após eventos extremos; Descomissionamento ou abandono da barragem; Sabotagem; Ou quando a Ana julgar necessário.

A seção II do capítulo V da Resolução ANA nº 236/2017 define a periodicidade da elaboração do RPSB conforme a classificação da barragem, da seguinte forma:

- Classe A: a cada 5 anos;
- Classe B a cada 7 anos;
- Classe C a cada 10 anos;
- Classe D a cada 12 anos.

A seção II do capítulo VI da Resolução ANA nº 236/2017 define a periodicidade da elaboração do PAE, que deve ser realizado para barragens novas antes do início do primeiro enchimento. Anualmente este deverá ser atualizado quanto as informações básicas (endereços, e-mails, telefones, fluxo grama de notificações, etc..). Também, o PAE deve ser revisado quando elaborado um novo RPSB.

- Qualificação dos responsáveis técnicos

O capítulo VII da Resolução ANA nº 236/2017, define através dos artigos 30 e 31 que os responsáveis técnicos pela elaboração do PSB, PAE, RPSB, ISR e ISE devem ter

registro no CREA com atribuições profissionais ligadas a construção, manutenção ou operação de barragens, compatíveis com as definidas pelo CONFEA, e deverão recolher anotação de responsabilidade técnica. Ainda, a equipe que realizar o RPSB e ISE deverá ser multidisciplinar de especialistas voltados a segurança de barragens.

### 3.1.2 Resoluções aplicadas às barragens de mineração

A Agência Nacional de Mineração (ANM) é a agência que fiscaliza as barragens voltadas para as atividades de mineração. Desta forma, esta propôs a resolução mais atualizada, restritiva e condizente com as tendências de normas de segurança de barragens internacionais, uma vez que estipula parâmetros definidos pelo ICOLD, como por exemplo a referência clara quanto a borda livre, e fatores de segurança de estabilidade geotécnica.

A Resolução ANM nº 95 entrou em vigor em 22 de fevereiro de 2022, e revogou a portaria DNPM nº 70.389/2017, a Resolução ANM nº 13/2019 (tratava sobre as barragens de mineração construídas à montante), a Resolução ANM nº 32/2020, a Resolução ANM nº 40/2020, a Resolução ANM nº 51/2020 e Resolução ANM nº 56/2021, que alteravam a portaria nº 70.389/2017 em diversos aspectos. Dessa forma, a atual resolução buscou unificar as demais resoluções e trazer novos conceitos relacionados a segurança de barragens no cenário nacional (ANM, 2022).

Dentre os novos conceitos apresentados, o artigo 1º traz atualizações sobre os empilhamentos drenados, exigindo estudos técnicos e revisões. Já no artigo 2º são definidos diversos conceitos, como exemplo o Engenheiro de Registro (EdR), que é um profissional externo a empresa do empreendedor, registrado no CREA, com capacidade de apoiar e aplicar os procedimentos de boas práticas de engenharia, com respaldo das diretrizes, regulamentos e normas aplicadas nos âmbitos nacional e internacional (ANM, 2022).

O capítulo 1 da Resolução ANM nº 95, discorre sobre o sistema integrado de segurança de barragens de mineração (SIGBM) e do cadastro nacional de barragens de mineração (CNBM). Neste, é citado que o empreendedor deve cadastrar suas barragens e Estruturas de Contenção à Jusante (ECJ) diretamente no SIGBM, sendo estas,

barragens em operação, construção ou desativadas. No caso das ECJ, as mesmas devem ser cadastradas em campos específicos no sistema, indicando a qual estruturas estão associadas, e apresentar condição de estabilidade. Também é importante ressaltar que se existir mais de uma estrutura de barramento no mesmo reservatório, os critérios da barragem de maior pontuação devem ser transmitidos para as demais (ANM, 2022).

Quanto a classificação das barragens, a resolução apresenta os critérios de classificação para CRI e DPA no anexo IV, neste caso diferente das outras portarias não existe uma matriz de classificação da barragem que cruza estes parâmetros, é apenas definido o CRI e o DPA como alto médio ou baixo. Ademais, foi lançado um novo conceito na classificação pela ANM, que é quanto a gestão operacional, que pode ser identificado como AA, A, B, C e D, conforme critérios estabelecidos no anexo I (ANM, 2022).

Caso a barragem seja classificada como DPA alto, o empreendedor é obrigado a elaborar um mapa de inundação, através de um estudo de rompimento hipotético da barragem, e a resolução descreve diversos aspectos deste estudo, detalhando o conteúdo mínimo e uma série de parâmetros técnicos, relacionados a modelagem em 2D. Ainda, as barragens com essa classificação obrigam os empreendedores a manterem monitoramento automatizada da instrumentação, em tempo real e integral (ANM, 2022).

A Resolução ANM nº 95 é bem criteriosa quanto a classificação, dessa forma, ela apresenta casos específicos onde a barragem pode ser diretamente classificada com CRI alta, sendo estes definidos no artigo 5º da seguinte maneira:

- Se no quadro de categoria de risco (quadro 3, tabela 1.2 Estado de Conservação, apresentada no anexo IV), for identificada alguma anomalia de pontuação 10 em qualquer coluna;
- Se a DCE não for enviada nos prazos estabelecidos no artigo 19. Este artigo estabelece que a RISR deve ser realizada semestralmente, e dessa forma a DCE deve ser enviada através do SIGBM de 1º a 31 de março e entre 1º e 30 de setembro;
- Se a DCE for enviada no prazo, mas o auditor independente não atestar estabilidade;

- Se o fator de segurança mínimo da barragem atingir, em qualquer tempo, os valores estabelecidos no artigo 23. Este artigo diz que somente um profissional legalmente habilitado pelo CREA/CONFEA deve realizar o cálculo do fator de segurança, com base na ABNT 13.028/2017 (ou norma que a suceda), considerando as boas práticas de engenharia e práticas internacionais. É exigido para as análises de estabilidade e estudo de susceptibilidade a liquefação, na condição não drenada, local ou global, um valor igual ou superior a 1,3 para a resistência de pico.
- Se o sistema extravasor não estiver dimensionado conforme o artigo 24. Este artigo diz que o sistema extravasor da barragem deve ser capaz de laminar uma cheia de projeto com tempo de retorno que depende de seu DPA. Para barragens de DPA baixo o sistema extravasor deve atender ao TR de 500 anos, para DPA médio 1.000 anos e para DPA Alto o sistema extravasor deve atender TR 10.000 anos ou a PMP (o que for mais restritivo);
- Se a barragem não possuir borda livre conforme projeto.

Caso a barragem se encaixe em uma destas situações e possua sua CRI classificada como alta, a mesma será enquadrada em nível de emergência conforme apresenta o artigo 41 (ANM, 2022).

Para se entender os conceitos de nível de alerta e emergência se faz necessário observar o artigo 40, que apresenta as seguintes definições (ANM, 2022):

- Considera-se iniciada uma situação de alerta quando: Identifica-se uma anomalia com pontuação 6 no quadro de categoria de risco (quadro 3, tabela 1.2 Estado de Conservação, apresentada no anexo IV), em dois extratos de inspeção regular seguidos; identifica-se uma anomalia que necessite de controle e monitoramento, mas que não implica no risco imediato à segurança da barragem; ou a critério da ANM.
- Considera-se iniciada uma situação de emergência: Quando é iniciada uma Inspeção de segurança especial na barragem (ISE); qualquer outra situação com potencial de comprometer a segurança da estrutura; qualquer caso que esteja descrito no inciso II do artigo 41 ou a critério da ANM.

Mais especificamente, o artigo 41 define as situações de emergência (ANM, 2022):

- Nível de alerta: Quando se identifica qualquer situação contida no artigo 40;
- Nível de Emergência 1 – NE1:
  - Barragem com CRI alta;
  - Detectada anomalia de pontuação 6 no quadro de Categoria de Risco (1.2 - Estado de Conservação) do Anexo IV, em 4 extratos de inspeção regular (EIR) seguidos;
  - Detectada anomalia de pontuação 10 (EIR);
  - Situações descritas no §1º do art. 5º;
  - Quando FS não drenado de pico estiver entre  $1,2 < FS < 1,5$  (para os casos elencados no inciso I, §3º do art. 59 ) ou o FS drenado estiver entre  $1,3 < FS < 1,5$ ;
  - Para qualquer situação que tenha potencial de comprometer a segurança da barragem.
- Nível de Emergência 2 – NE2:
  - Caso o resultado das ações tomadas para tratar a anomalia referida no inciso I for classificada como “não controlada” (seguindo a definição no § 1º do artigo 31, que explica a classificação de extinto, controlado e não controlado para as anomalias);
  - Fator de segurança da barragem se encontre entre  $1,1 < FS < 1,3$  na condição drenada ou  $1,0 < FS < 1,2$  na condição não drenada de pico.
- Nível de Emergência 3 – NE3:
  - Quando está ocorrendo o rompimento da barragem, ou é inevitável;
  - Fator de segurança da barragem se encontre abaixo de 1,1 na condição drenada ou 1,0 na condição não drenada de pico.

Para melhor entender todos os critérios de classificação citados acima, a ANM publicou em seu site uma síntese, que pode ser verificada na Tabela 3-6 (ANM, 2022).

Tabela 3-6 : Definição dos níveis de alerta

Nível de alerta	NE1	NE2	NE3
6 pontos em uma mesma coluna no quadro de EC* em 2 EIR's seguidos	CRI Alto	Anomalia não controlada	Ruptura ocorrendo ou inevitável
Anomalia que precisa ser controlada e monitorada, porém não implica em risco imediato à segurança da barragem	6 pontos em uma mesma coluna no quadro de EC* em 4 EIR's seguidos	1,1 < FS drenado < 1,3	FS drenado < 1,1
	10 pontos no quadro de EC*	1,0 < FS não drenado de pico < 1,2	FS não drenado de pico < 1,0
	DCE não enviada no prazo		
	DCE que conclui pela não estabilidade da barragem		
	FS mínimo não foi atingido em qualquer momento		
	Sistema extravasor não está dimensionado conforme tempo de retorno mínimo exigido		
	Borda livre não adequada conforme projeto		
	1,3 < FS drenado < 1,5		
	1,2 < FS não drenado de pico < 1,3		
	1,2 < FS não drenado de pico < 1,5 (Casos inciso I, §3º do art. 59)		
	Outra situação com capacidade de comprometer a segurança da barragem		

EC\* = Quadro de Categoria de Risco (1.2 - Estado de Conservação) do Anexo IV

EIR = Extrato de inspeção regular

DCE = Declaração de estabilidade

FS = Fator de segurança

Fonte: ANM (2022)

As consequências de a barragem entrar em nível de emergência, são descritas na nova resolução, ainda no artigo 41. A primeira citação diz que após a classificação da barragem quanto ao seu nível de emergência, o coordenador do Plano de Ação de Emergência de Barragem de Mineração (PAEBM) deve declarar a situação de emergência e então executar as ações descritas no PAEBM, além de comunicar todos os envolvidos e estar disponível aos órgãos de defesa civil. Ademais, quando a barragem

é classificada em nível de emergência, o empreendedor interromper imediatamente o lançamento de efluentes ou rejeitos no reservatório (mantendo o monitoramento e a manutenção na barragem), podendo sofrer embargo ou suspensão da atividade de mineração (ANM, 2022).

Já no artigo 42 é citado que caso a emergência seja classificada como NE3 o empreendedor deve avisar a comunidade potencialmente afetada na Zona de Ato Salvamento (ZAS), para que ocorra a evacuação de forma rápida e eficaz, usando sistemas de alerta e de avisos constantes. Já quando o nível de emergência for classificado como NE2, o empreendedor deve se articular com a defesa civil para realizar a evacuação preventiva da população inserida na ZAS (ANM, 2022).

Outra ferramenta importante da Resolução ANM nº 95, que concorda com a PNSB, é o PSB. O capítulo II, aborda o seu conteúdo mínimo, sendo este dividido em cinco volumes: Informações gerais; planos e procedimentos; registros e controles; RPSB; PAEBM; e por fim o processo de gestão de riscos (PGRBM) que é um novo elemento para a segurança das barragens, sendo exigido até o momento apenas para as barragens de mineração (apenas a ANM solicita tal metodologia). O conteúdo mínimo de cada volume é muito bem detalhado no Anexo II da resolução. Em complemento a resolução, no artigo 10, exige que as barragens que forem construídas depois da publicação da PNSB possuam projeto “as built” como componente de seu PSB. Já as que foram construídas antes da PNSB devem possuir projeto “as is” atualizado (ANM, 2022).

Uma questão interessante abordada na Resolução ANM nº 95, é a elaboração da RPSB e da RISR. O objetivo da primeira é realizar de fato uma revisão tecnológica da barragem, de forma independente. Sendo assim, o artigo 15 cita que a RPSB deve ser realizada por uma equipe multidisciplinar externa, ou seja, contratada para atuar de forma independente, e além disso deve ser uma equipe distinta da que realiza o RISR (ANM, 2022). Um dos produtos mais importantes da RPSB é a lista de recomendações para melhorias na segurança da barragem, sendo assim, a resolução cita que o cancelamento de uma das recomendações deve possuir justificativa técnica com ART, e deve ser anexada no PSB. Esta maneira de gerenciar as recomendações é uma forma de garantir que o empreendedor as conclua, e os auditores gerem recomendações mais claras e assertivas (ANM, 2022).



Nesta resolução a periodicidade da elaboração dos documentos e das inspeções é bem definida. No caso do RPSB, o artigo 18 apresenta a seguinte organização, conforme o DPA da barragem:

- DPA baixo: a cada 7 anos;
- DPA médio: a cada 5 anos; e
- DPA alto: a cada 3 anos

Como as barragens de mineração são dinâmicas, a resolução menciona que toda vez que ocorrer uma mudança estrutural, ou mudança na classificação do rejeito lançado, o empreendedor é obrigado a realizar uma nova RPSB, concluindo em um prazo de 6 meses após a conclusão da modificação. Além disso, para barragens que são alteadas continuamente o RPSB deve ser realizado a cada 2 anos ou a cada 10m de alteamento, prevalecendo o que ocorrer antes, também com prazo de 6 meses para concluir a revisão (ANM, 2022).

Ainda, a ANM exige um maior controle através de inspeções de campo. A Inspeção de Segurança Regular (ISR) deve ser realizada pelo empreendedor a cada quinze dias, e ao final da ISR o empreendedor deve preencher o Extrato de Inspeção Regular (EIR), devendo preencher de maneira quinzenal no SIGBM, tais definições são descritas no artigo 19 desta Resolução. Ainda neste artigo, a Resolução diz que a periodicidade da elaboração do RISR e da DCE é semestral, devendo ser entregue através do SIGBM entre 1º e 31 de março e 1º e 30 de setembro.

Esta resolução ainda explicita que fica vedada a construção de novas barragens de mineração na qual seu mapa de inundações verifique comunidade na Zona de Alto Salvamento (ZAS). Caso a barragem já esteja construída, antes da publicação desta resolução, a barragem deve ser descaracterizada, ou a população na ZAS deve ser reassentada ou devem ser realizadas obras de reforço nessa estrutura. Neste caso as obras de reforço devem permitir que a estrutura apresente um fator de segurança geotécnico acima de 1,5 para resistência de pico, e a barragem deve possuir borda livre mínima de 1m (para o tempo de retorno aplicado a estrutura conforme já explicado no artigo 24).

Para que as determinações da resolução quanto à segurança das barragens sejam executadas da melhor forma possível, os artigos 59 e 60 se dedicam a explicitar os

quesitos mínimos exigidos para as empresas e os profissionais que irão executar quais quer documentos técnicos citadas na Resolução ANM nº 95.

Quanto às empresas, o artigo 59 cita que devem possuir equipe multidisciplinar, com experiência na área de mineração (consultoria, auditoria e projetos), sendo composta minimamente por profissionais com conhecimento em hidráulica, hidrologia, geologia, engenharia de barragens e geotecnia. Além de possuir código de ética implementado e possuir certificado de pessoa Jurídica no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) (ANM, 2022).

Em relação aos profissionais, o artigo 60 cita que devem atender aos seguintes requisitos mínimos no que se refere a habilitação profissional:

*“Especialização, mestrado ou doutorado em geotecnia, ou engenharia de barragens ou segurança de barragens ou equivalente, reconhecida pelo Ministério da Educação - MEC; ou*

*Especialização, mestrado ou doutorado em hidrologia ou hidráulica ou equivalente, reconhecida pelo Ministério da Educação - MEC.*

*ser membro de organização profissional reconhecida que possua código de ética devendo seguir tal Código de Ética deste Conselho;*

*ter experiência em estudos, projetos, planos, manuais de dimensionamento, implantação, segurança, monitoramento, manutenção ou operação de barragens, e;*

*ter conhecimento detalhado de manuais e normas utilizados no Brasil e em outros países sobre “Avaliação da Segurança de Barragens” e “Inspeção de Barragens” (ANM,2022)*

No capítulo X, a resolução aborda as responsabilidades dos envolvidos. Dessa forma, inicialmente é explicitado que as barragens que sejam classificadas com DPA alto, devem designar um EdR. Em seguida, é dito que o EdR deve avaliar a estrutura de forma contínua, através da emissão de relatórios com ART, considerando as diretrizes e os

parâmetros de segurança, os padrões aplicáveis, os requisitos legais que vem sendo cumpridos e os objetivos de desempenho, durante todo o ciclo de vida da barragem (ANM,2022). Ademais, o EdR deve ser externo à empresa, não pode ser o emissor do RPSB, não pode compor as equipes de operação e manutenção da barragem, deve cumprir as exigências mínimas do artigo 60, deve compor a equipe multidisciplinar de Gestão de Risco, e poderá emitir a RISR (ANM,2022).

Por fim, é verificada na resolução uma cadeia completa de responsabilidade legal, e penalizações quanto ao seu descumprimento, muitas vezes acarretando na paralização total dos serviços no empreendimento como um todo, e a aplicação de multas que podem ser cumulativas.

### 3.1.3 Legislações aplicadas às barragens do Estado de Minas Gerais

Em fevereiro de 2019, o Estado de Minas Gerais, publicou a lei nº 23.291 visando instituir a Política Estadual de Segurança de Barragens (PESB), um mês depois do acidente em Brumadinho. Tal lei visa aumentar a segurança das barragens mineiras, de forma articulada a PNSB e as Políticas Nacional e Estadual de Meio Ambiente e de Proteção e Defesa Civil (MINAS GERAIS, 2019).

Adequando-se a realidade das barragens contidas no estado de Minas Gerais, a Política Estadual se aplica as barragens de rejeito, qualquer resíduo ou líquido provindo de processos de mineração, resíduos industriais e acumulação de água que se enquadre nos seguintes parâmetros: Altura do maciço maior ou igual a 10m (contada da crista ao ponto mais baixo da fundação); Reservatório com capacidade maior ou igual 1.000.000 m<sup>3</sup>; Reservatório que contenha qualquer tipo de resíduos perigosos; potencial de dano ambiental médio ou alto (MINAS GERAIS, 2019).

O capítulo II da Política Estadual de Segurança de Barragens foca no licenciamento ambiental de barragens. Dessa forma, foi definido que a construção, instalação, funcionamento e alteamento das barragens passam a depender de licenciamento ambiental na modalidade trifásica (Licença prévia – LP, Licença de instalação – LI e Licença de operação LO), com elaboração prévia de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Este processo descrito pela Lei no capítulo II,

implica em uma maior interação do empreendedor com os órgãos ambientais fiscalizadores ainda na etapa inicial de projeto, visando assim começar uma operação segura, e impedir que situações mais complexas que diminuam a segurança da barragem sejam alcançadas no futuro (MINAS GERAIS, 2019).

Já no capítulo III, são abordadas as definições relativas à fiscalização das barragens. Dessa forma a lei institui diversas obrigações do empreendedor, em aspectos ambientais e de segurança da barragem. Fica definido que assim que o empreendedor termina o PSB, como condicionante para sua LO o mesmo deve apresentar ao órgão competente do Sisema, a declaração de estabilidade da barragem com respectiva ART, onde as ARTs devem ser assinadas por profissionais legalmente habilitados. Ainda, o PSB deve ser atualizado toda vez que as exigências ou recomendações originadas das inspeções, auditorias técnicas de segurança regular e extraordinária, e a revisão periódica indiquem tal necessidade. E para cada atualização do PSB o empreendedor deve apresentar nova declaração de estabilidade (DCE) (MINAS GERAIS, 2019).

No mesmo capítulo, quanto a periodicidade da realização das auditorias técnicas de segurança de barragens, fica definido conforme o art. 17 o seguinte: a cada ano para barragens com alto potencial de dano ambiental; a cada dois anos para médio potencial de dano ambiental e cada três anos para barragens com baixo potencial de dano ambiental. Estes relatórios devem possuir ART e devem ser apresentados ao órgão competente do Sisema até o dia 1º de setembro do ano de execução do estudo (MINAS GERAIS, 2019).

Caso o empreendedor não apresente a DCE ou o auditor independente que elaborou o relatório técnico de segurança da barragem (regular ou extraordinário) não atestar a estabilidade, o órgão competente do Sisema determinará a suspensão imediata da operação da barragem até que a situação se regularize (MINAS GERAIS, 2019).

O capítulo IV é o último da lei, e delibera sobre as disposições finais, neste é definido que os órgãos e servidores do Poder Executivo devem informar ao ministério público a ocorrência da infração dessa lei, concedendo elementos técnicos e informações que subsidiem a responsabilidade criminal e civil dos infratores. Também é citado que a caso aconteça um desastre devido ao descumprimento dessa lei a multa administrativa poderá

ser majorada em até mil vezes. Por fim, como destaque, vale ressaltar que a lei define o empreendedor como responsável pelo reparo dos danos causados por um eventual desastre, independente de culpa (MINAS GERAIS, 2019).

Logo na sequência, em março de 2019 foi publicada a resolução conjunta entre SEMAD/FEAM nº 2.784, que vedou o licenciamento das barragens de rejeito ou de resíduos de mineração que possuam processo de alteamento a montante. Ainda foi determinado que as barragens construídas por este método devem ser descaracterizadas (SEMAD & FEAM, 2019)

Em 25 de fevereiro de 2021 o Governo do Estado de Minas Gerais publicou o decreto nº 48.140 que visa regulamentar dispositivos da PESB. Tal decreto apresenta os critérios de classificação das barragens, conforme 4 anexos (do Anexo I ao IV), separando os quadros de potencial de dano ambiental (PDA), características técnicas (CT), Estados de conservação (EC) e categoria de risco (CRI), conforme os tipos de barragens sendo estes: disposição de resíduos ou rejeitos da indústria, disposição de resíduos ou rejeitos da mineração e acumulação de água associadas a processos industriais ou de mineração (MINAS GERAIS, 2021).

Ainda, no anexo V é apresentada a matriz de classificação que cruza a categoria de risco com potencial dano ambiental e define as classes de A a E para as barragens em questão. Dessa forma, estas informações devem ser levantadas pelo empreendedor e devem ser enviadas a Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), um ponto muito importante do decreto que incorpora a Feam como órgão integrante do Sisema na fiscalização das barragens (MINAS GERAIS, 2021).

Também, no capítulo III do decreto nº 48.140/2021, fica definido que os profissionais que se interessem em elaborar as auditorias técnicas de segurança das barragens que se enquadrem na PESB, devem ser credenciados pela Feam. Dessa forma a DCE de uma barragem da PESB só pode ser assinada por um auditor credenciado. Tal processo traz mais segurança sobre os estudos de auditoria, uma vez que o credenciamento implica na avaliação do currículo do auditor e a comprovação das atribuições e títulos voltados a segurança de barragens (MINAS GERAIS, 2021).

O capítulo IV do decreto nº 48.140/2021, aborda especificamente a descaracterização das barragens alteadas à montante, definindo essas barragens como aquelas em que os diques de contenção se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento que foi previamente lançado e depositado. Conforme o artigo 18 o processo de descaracterização deve cumprir no mínimo as etapas a seguir: Encerramento das operações e remoção das estruturas associadas (exceto as que mantêm a segurança da estrutura); Eliminação ou redução do aporte de águas para o reservatório (superficiais e subterrâneas), impossibilitando o trânsito de cheias na estrutura; Adoção de medidas que permitam a estabilidade química, física e biológica de longo prazo; Monitoramento por tempo necessário, buscando verificar a eficácia das medidas impostas (MINAS GERAIS, 2021). Além disso, é citado que os projetos devem ser apresentados a Feam, e os processos envolvidos na descaracterização tem grande sinergia com o órgão.

O capítulo V retrata as obrigações do empreendedor quando se trata das obras e intervenções emergenciais. Dessa forma fica estabelecido pelo artigo 24 que o empreendedor deve, imediatamente, adotar medidas de emergências que sejam necessárias para eliminar ou reduzir a situação de risco iminente para o meio ambiente e vidas humanas. Nestes casos as ações a serem tomadas para sanar tais situações, independem de licenciamento prévio, ou autorização de intervenção ambiental por parte dos órgãos ambientais estaduais (MINAS GERAIS, 2021).

Ainda, as obras e intervenções emergenciais devem passar pelas seguintes etapas: comunicação prévia e justificada, com assinatura do representante legal, a Feam e Semad; envio de relatórios mensais a Feam e Semad indicando todas as intervenções realizadas, bem como as medidas e ações adotadas para mitigar os impactos ambientais, até o fim da obra; envio do relatório final que comprova o encerramento da situação de emergência, ou descaracterização, assim como os resultados do monitoramento das ações de prevenção e mitigação dos impactos. Por fim, neste capítulo, o decreto apresenta uma forma mais clara as consequências do descumprimento das obras e intervenções, que se refere a sanções administrativas ao empreendedor e comunicação do fato ao ministério público (MINAS GERAIS, 2021).

Já no capítulo VI, o decreto aborda o registro do nível dos reservatórios nas barragens que se enquadram na PESB. Visando aumentar o controle da segurança dos

barramentos, ficou estabelecido que semestralmente o empreendedor deve enviar para a Feam: Registro mensais dos níveis estimados dos reservatórios; registros trimestrais do volume armazenado nos reservatórios. Além disso, o empreendedor deve realizar a caracterização físico química do material armazenado no reservatório (MINAS GERAIS, 2021).

Em complemento a PESB, o capítulo VII, descreve a majoração e a destinação das multas aplicadas pelo descumprimento da mesma. O Decreto 43.383 de 2018, já possui toda uma cadeia de definição sobre as multas, dessa forma o Decreto 48.140/2021 tem como um dos objetivos acrescentar alguns artigos. Como exemplo, o artigo 31 do Decreto 48.140/2021 acresce o artigo 80-A no Decreto 43.383 de 2018, estabelecendo que a multa simples independerá do porte da atividade ou do empreendimento, no caso de um desastre oriundo do descumprimento da PESB, devendo o valor da multa simples cominada, ser majorada de acordo com a capacidade econômica do infrator e o PDA. A capacidade econômica do infrator é definida conforme o parágrafo primeiro do artigo 31, já a majoração é bem definida no anexo VI do Decreto 48.140/2021 (MINAS GERAIS, 2021).

Além disso, o artigo 32 do Decreto 48.140/2021 acresce no artigo 113 do Decreto 43.383 de 2018, alguns parágrafos que definem a destinação dos valores das multas pagas pelos empreendedores para os municípios localizados no estado de Minas Gerais, afetados por desastres. Nestes casos, 60% dos valores pagos como multa, são destinados aos municípios mineiros atingidos pela mancha de inundação de acordo com o tamanho da área afetada. Enquanto que 40% fica disponível para municípios que tiverem seus mananciais afetados, e população com prejuízos no abastecimento de água (MINAS GERAIS, 2021).

#### 3.1.4 Portarias IGAM

As barragens de captação de água no Estado de Minas gerais, ainda estão em um passo anterior em relação as barragens de mineração. Isto é verificado uma vez que o órgão fiscalizador destes tipos de empreendimento, ainda está lançando portarias para o cadastro das barragens sob sua jurisdição em seu portal de informações Sistema de

Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos – SISCAD. A portaria IGAM nº 01/2019 altera os prazos de cadastramento alegando diversos problemas no sistema no ano de 2018, que impossibilitou os empreendedores a realizar tal ação.

Sendo assim a portaria nº 3 do IGAM, de 26 de fevereiro de 2019, foi emitida no intuito de convocar os usuários de recursos hídricos que possuem barragens com objetivo de acumulação de água (com exceção das utilizadas para fins de aproveitamentos hidrelétricos), que estejam localizadas em cursos d'água de domínio do Estado de Minas Gerais, a realizar o cadastro no SISCAD através do preenchimento do Formulário Técnico para Cadastro de Barragem (IGAM, 2019).

O capítulo II da portaria IGAM nº 3 de 2019, define como deve ser o preenchimento do Formulário Técnico, que deve ser realizado pelo próprio usuário, respeitando os prazos estabelecidos no anexo I. O Formulário Técnico, obriga o empreendedor a preencher informações básicas da barragem que possuem sinergia com as solicitações propostas tanto na PNSB como na PESB, sendo estas (IGAM, 2019):

- Características da estrutura hidráulica e informações técnicas da barragem

Neste item o empreendedor deve inserir o nome do curso d'água onde se encontra o barramento, a sua localização georreferenciada com sistemas de coordenadas Sirgas 2000, uso principal da barragem, data de construção, se possui projetos *As Is*, *As Built*, projetos básico, executivo, detalhes do sistema extravasor, critérios de dimensionamento do sistema extravasor, altura, comprimento e largura do maciço, dados de reservatório e fundação (IGAM, 2019). É possível observar dessa forma, que as informações aqui solicitadas irão compor por exemplo os relatórios de inspeção regular, e demais documentos necessários para elaboração do PSB, que é item obrigatório para o atendimento do PNSB e PESB.

- Estado de conservação, Plano de Segurança e Dano Potencial associado

Neste item o usuário apenas preenche a planilha apresentada no formulário, já realizando a classificação da barragem quanto ao EC, PS e DPA. A matriz de



classificação apresentada segue os mesmos critérios dos apresentados na resolução do CNRH n° 143/2012, sendo assim, quando o usuário realizar este cadastro, já terá realizado a classificação conforme solicita a PNSB, tendo assim uma sinergia entre a portaria e a Lei (IGAM, 2019).

As diretrizes principais voltadas à segurança da barragem estabelecidas pelo IGAM, para o atendimento de suas obrigações como órgão fiscalizador definidas pela PNSB, estão dispostas na portaria IGAM n° 02/2019. Nesta, são estabelecidas a qualificação dos responsáveis técnicos, a periodicidade de atualização ou execução e o conteúdo mínimo da ISR, Inspeção de Segurança Especial, PSB, PAE e RPSB (IGAM, 2019).

A classificação das barragens sob responsabilidade do IGAM (barragens de usos múltiplos posicionadas em rios do Estado de Minas Gerais, com exceção das barragens para fins de aproveitamentos hidroelétricos) segue a mesma ideia apresentada anteriormente na Resolução ANA n° 236/2017. Ou seja, a portaria do IGAM 02/2019 classifica as barragens quanto a CRI e DPA e cruza essas informações em uma matriz de classificação que determinar as categorias A, B, C e D para as barragens (IGAM, 2019).

O artigo 5° desta mesma portaria define que o conteúdo do PSB, citando que tal documento deve ser composto de seis volumes: Informações gerais; documentação técnica do empreendimento; planos e procedimentos; registros e controles; RPSB; PAE. Sendo o conteúdo mínimo de cada volume definido no anexo III desta portaria (IGAM, 2019).

Sobre a ISR, a portaria cita que o seu resultado deve ser um Relatório de Inspeção de Segurança Regular (RISR), obedecendo o conteúdo mínimo apresentado no anexo III. Além disso, dentro da RISR deve ser informado o Nível de Perigo da Anomalia (NPA) e o Nível de Perigo Global da Barragem (NPGGB), observada na inspeção. Tanto NPA quanto o NPGGB pode ser classificados como Normal, Atenção, Alerta ou Emergência, e os artigos 12 e 13 orientam como realizar essa classificação (IGAM, 2019).

Para as barragens classificadas como A, B e C, o empreendedor deve realizar a ISR uma vez por ano, compreendendo período entre 01 de janeiro a 31 de dezembro. E entre os dias 15 a 31 de dezembro do ano de referência, o empreendedor deverá apresentar ao IGAM o Extrato de Inspeção de Segurança Regular (EISR) somada a cópia

da ART do profissional que elaborou a RISR. Já as barragens classificadas como D, podem realizar este processo bianualmente (IGAM,2019).

Quanto a inspeção de segurança especial (ISE), o artigo 17 desta portaria define que deve ser realizada sob as seguintes condições: quando NPGB atingir as classificações de Alerta ou Emergência; antes do se iniciar o primeiro enchimento do reservatório; ao realizar o RPSB; quando acontecer um deplecionamento rápido do reservatório; quando da ocorrência de eventos extremos (secas prolongadas, sismos ou cheias extremas); no descomissionamento ou abandono da barragem; situações de sabotagem ou quando IGAM julgar necessário. A ISE também deve ter como resultado um relatório conclusivo sobre a segurança da barragem, com recomendações e ART, e deve obedecer ao conteúdo mínimo do anexo III desta portaria (IGAM,2019).

Segundo a Portaria IGAM nº 02/2019, a RPSB deve possuir como resultado um relatório e um resumo executivo, ambos devem possuir o conteúdo mínimo descrito no anexo III dessa portaria. Ainda, quanto à frequência de execução o artigo 20 define o seguinte (IGAM,2019):

- A cada 5 anos para as barragens classe A;
- A cada 7 anos para as barragens classe B;
- A cada 10 anos para as barragens classe C;
- A cada 12 anos para as barragens classe D;

Quanto a elaboração do PAE, esta portaria define que este se aplica as barragens de classe A e B, e o conteúdo mínimo do documento deve obedecer ao anexo III. Tal documento, deve ser elaborado antes do primeiro enchimento da barragem e deverá ser revisado toda vez que houver uma RPSB (IGAM, 2019).

Ainda, em relação aos responsáveis técnicos pela elaboração de todos os documentos citados nesta portaria, os mesmos deverão ser registrados no CREA com atribuição profissional para construção, operação, manutenção ou projeto de barragens compatíveis com as definidas no CONFEA, e conforme já mencionado, deverão recolher ART (IGAM, 2019).

Por fim as sanções pelo descumprimento de qualquer uma das obrigações prevista na Portaria IGAM nº 02/2019 são as apresentadas no Decreto nº 47.383 de 02 de março

de 2018, sem prejuízo das demais sanções cabíveis (civil, penal e administrativa) (IGAM, 2019).

### 3.2 SEGURANÇA DE BARRAGENS INTERNACIONAL: DIRETRIZES E PARÂMETROS DE PROJETO

Este tópico buscar revisar as principais ações internacionais que buscam regular o tema de segurança de barragens, tomando-se como referência os principais países que contribuem nessa área do conhecimento. Tal informação ajuda a entender como o Brasil está em relação ao resto do mundo no tema de segurança de barragens e as tendências futuras.

#### 3.2.1 Estados Unidos

Conforme a autora Jesus (2021) o início da construção de barramentos de propriedade do governo federal dos Estados Unidos pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) é datada do início do século XIX. Tais estruturas foram construídas no intuito de permitir a navegação no rio Ohio. Já em 1902 o congresso americano criou o *Bureau of Reclamation* atual *United States Bureau of Reclamation* (USBR), sendo assim, estes dois órgãos têm papel fundamental nas diretrizes técnicas de elaboração e manejo da segurança das barragens americanas, devido a centenas de anos de experiência.

A legislação americana quanto a segurança das barragens é extremamente complexa, segundo a própria *Association of State Dam Safety Officials* (ASDSO), cada estado possui uma legislação independente, dessa forma não é viável realizar tal análise neste estudo, mas caso o leitor queira aprofundar especificamente nas leis de cada estado, o *Summary of State Laws and Regulations on Dam Safety* publicado pela ASDSO, é um bom ponto de partida (ESTADOS UNIDOS, 2020).

É mais interessante então neste caso verificar as boas práticas de engenharia, que são indicadas pelo governo americano, para as ações que envolvam a segurança de barragens. Neste sentido existem dois documentos que se destacam, o *Federal*

*Guidelines for Dam Safety* de 2004 e o *Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management* de 2015, ambos produzidos pela *Federal Emergency Management Agency* (FEMA).

Sendo assim Estados Unidos (2004) define as diretrizes principais para a segurança das barragens americanas, separando os principais tópicos como: Gestão da Organização; Gestão das atividades técnicas de investigação do local do empreendimento e do projeto; Gestão das atividades técnicas de construção; Gestão das atividades técnicas de operação e manutenção.

A gestão das atividades técnicas de investigação do local do empreendimento e do projeto possuem mais detalhamento por parte da Estados Unidos (2004) o que se justifica, uma vez que a determinação do local mais apropriado, e um projeto bem estruturado, refletem em uma condição de segurança mais favorável no futuro da barragem.

Quanto aos parâmetros hidrológicos, Estados Unidos (2004) destaca que área alagada formada pelo futuro reservatório e o vale de jusante da barragem devem ser avaliados quanto aos riscos de danos das construções que se encontrem nestas regiões. O rompimento da barragem, a descarga de grandes vazões em eventos extremos ou em erros de operação podem trazer riscos para diversas estruturas, e tais riscos devem ser avaliados e tomados como critério de decisão para o local do empreendimento. Também é mencionado que a cheia de projeto, deve ser selecionada através de uma análise de risco e consequência da passagem da cheia nas áreas afetadas, considerando as condições atuais e futuras.

Quanto as condições de operação do reservatório, a Estados Unidos (2004) salienta que se deve realizar um plano de regularização, considerando a capacidade de armazenamento e de descarga. Além disso é importante se criar um sistema de monitoramento de dados hidro meteorológicos para auxiliar na tomada de decisão em eventos de precipitações intensas, e sistemas de alarme em caso de inundações.

Quanto as questões geotécnicas, a Estados Unidos (2004) destaca de maneira geral que após a seleção do local deve se executar um rigoroso programa de investigação, com sondagens e visitas de campo por profissionais experientes, compostos por geólogos, geofísicos e engenheiros geotécnicos.

O projeto geotécnico da fundação da barragem e do reservatório deve levar em consideração, a magnitude dos esforços aplicados. E especificamente sobre a fundação deve se avaliar a sua geometria e seus possíveis pontos de instabilidade; a determinação dos materiais que compõe a fundação (análises de laboratórios e ensaios); realizar um procedimento analítico para prever o comportamento da fundação do ponto de vista de estabilidade, percolação e deformação. Outra parte fundamental é a preparação da fundação, que deve atingir o objetivo de mantê-la estável, realizar o controle de percolação, controle de processos de erosão regressiva (pipping) e deformação (ESTADOS UNIDOS, 2004).

Um programa de instrumentação da fundação também é essencial, este deve possuir o objetivo de fornecer dados para validar os critérios que foram assumidos na etapa do projeto, fornecer informações contínuas sobre o comportamento da fundação, permitir a observação dos pontos críticos, e ainda permitir o avanço do estado da arte da engenharia de fundações de barragens (ESTADOS UNIDOS, 2004).

As boas práticas relacionadas aos parâmetros hidráulicos são de maneira geral voltados para medidas de proteção das estruturas extravasoras e seus componentes. É indicado pela Estados Unidos (2004) que o projeto do sistema extravasor seja concebido de maneira a direcionar o fluxo vertente de forma segura, e que proteja as demais instalações da barragem, que seja previsto maneiras de impedir a obstrução e que exista redundância, como sistemas de emergência. Também é importante selecionar a melhor soleira vertente, observado sua capacidade de vazão. Por fim, ressalta-se que é de extrema importância que um engenheiro hidráulico participe, em todas as etapas do ciclo de vida da barragem, da avaliação dos projetos e das condições de operação de todo sistema extravasor.

Quanto a etapa de operação da barragem a Estados Unidos (2004) destaca uma ação fundamental para segurança, que é a inspeção. O objetivo da inspeção de segurança deve ser verificar a integridade estrutural da barragem e todos os seus componentes, de forma a garantir a proteção da vida humana e do patrimônio. Tal ação deve ser realizada de forma periódica, uma vez que ela revela condições que possam causar o rompimento da barragem ou a paralisação das operações, a tempo de serem corrigidas. Quando se verifica uma situação destas, é de extrema importância que sejam

determinadas ações de adequação, a identificação da extensão da deterioração, origem do problema, e que se proponha um plano de manutenção e reparo.

É recomendado que seja criado uma programação completa para as inspeções, contendo cronograma, uma lista dos principais pontos a serem inspecionados, a frequência, a data das últimas inspeções, a data do último relatório de inspeção, os registros de manutenção, a descrição de todos reparos executados, as principais alterações realizadas na barragem e suas estruturas adjacentes e a data da próxima inspeção (ESTADOS UNIDOS, 2004).

Quanto aos tipos de inspeções a Estados Unidos (2004) recomenda as seguintes:

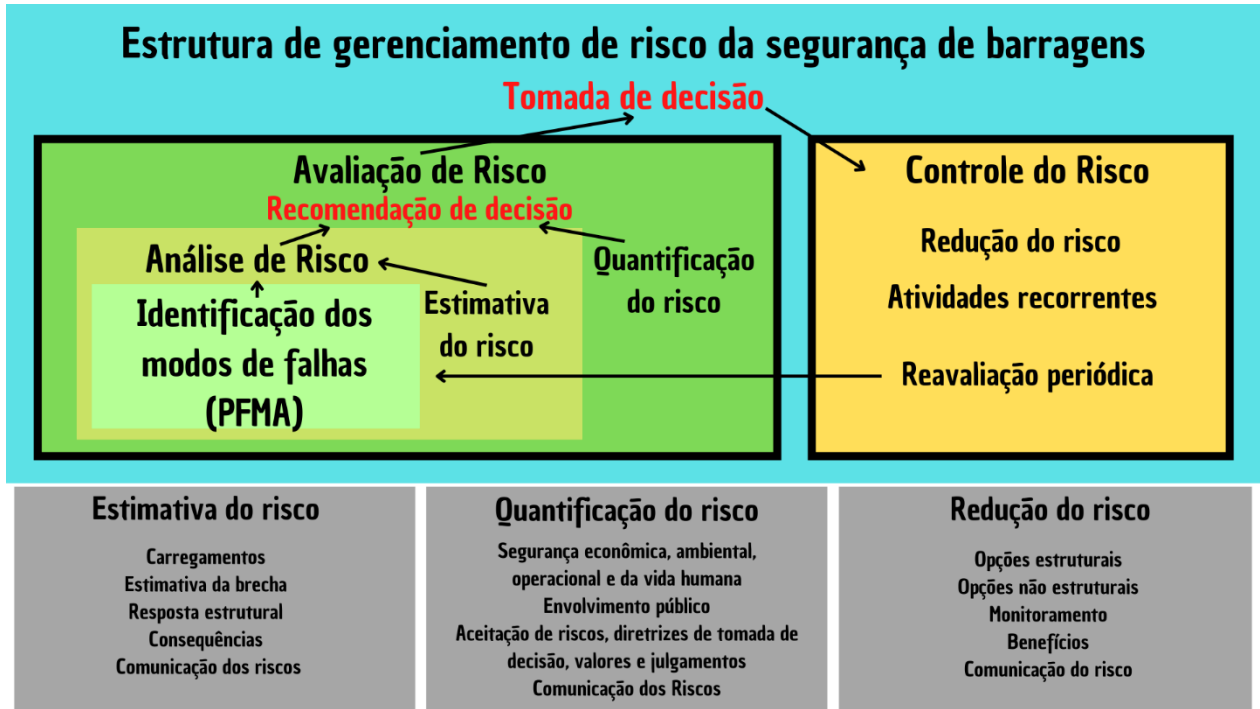
- **Inspeções informais:** Estas inspeções devem ser realizadas pelos funcionários do próprio empreendimento, de forma contínua, por profissionais especializados e que recebem treinamento para essa atividade. A lista de atividades desta inspeção deve ser realizada para cada barragem de forma específica, e deve ter a participação dos engenheiros que cuidam da operação. Devem ser relatadas quaisquer situações anormais que possam trazer riscos para a barragem e suas estruturas adjacentes, sendo que os profissionais que executam a inspeção devem ter atenção especial na verificação da existência de percolação, erosão, bolhas, vazamentos, instabilidade de taludes, infiltrações, deslocamentos, inclinações, rachaduras, deteriorações e mal funcionamento dos drenos e poços de alívio.
- **Inspeções Intermediárias:** Este tipo de inspeção deve ser realizada anualmente, ou semestralmente para barragens com alta potencial de danos a vida humana. Esta deve contemplar uma visita completa de campo na barragem e suas estruturas adjacentes, e deve ser verificado todos os registros realizados desde a última inspeção formal. Caso seja verificado situação anormal, estas devem ser repassadas para os especialistas no intuito de adequar as possíveis patologias.
- **Inspeções formais:** Este tipo de inspeção é mais criteriosa e deve ser realizada periodicamente com intervalos que não excedam 5 anos. Deve ser realizada por um time de especialista com grande experiência, altamente capacitados e treinados, no intuito de realizar uma revisão completa na barragem e nas estruturas adjacentes, verificando se estas atendem os critérios de projeto. Deve

ser avaliada toda documentação da barragem como os planos de instrumentação, operação e manutenção, documentos de investigações geológicas geotécnicas, projetos de construção e demais projetos das estruturas adjacentes, verificação do manual de operações e planos de emergência. Devem ser feitas inspeções com mergulhos, nas estruturas que ficam submersas. Por fim tal inspeção deve verificar a funcionalidade de todos componentes mecânicos e elétricos, devendo ser elaborados *checklists* para realização dos testes de operação.

Por fim a Estados Unidos (2004) cita a extrema importância de se realizar o monitoramento contínuo da instrumentação da barragem, através da manutenção e adequação dos instrumentos, observação e monitoramento de todos dispositivos, e o mais importante, da coleta de dados de forma contínua para verificar a performance dos parâmetros de segurança do barramento.

Em complemento a todos os procedimentos de segurança de barragens citados anteriormente, a Estados Unidos (2015) propôs um guia de boas práticas para gestão de risco das barragens. Conforme esta referência a análise de risco vem sendo usada como tomada de decisão pelas principais indústrias do mundo desde a década de 60, e recentemente a metodologia foi adaptada para o contexto da segurança de barragens pelos órgãos de maior relevância internacional no tema como *Australian National Committee on Large Dams* (ANCOLD), *British Columbia Hydro* (BCHydro) e *Bureau of Reclamation* (USBR). Em suma as boas práticas seguem a metodologia apresentada na Figura 3-7, e para mais detalhes o leitor pode se aprofundar no documento completo (ESTADOS UNIDOS, 2015).

Figura 3-7 - Gerenciamento de riscos aplicada na segurança de barragens.



Fonte: Adaptado de ESTADOS UNIDOS (2015)

### 3.2.2 Canadá

Dos países que mais produzem documentos voltados para a segurança de barragens, o Canadá se destaca. A *Canadian Dam Association* (CDA) é um grupo que envolve os empreendedores, operadores, reguladores, fornecedores e consultores interessados em barragens e reservatórios. Atualmente a CDA é a representante do Canadá no *International Commission On Large Dams* (ICOLD) (CDA, 2022).

A CDA produz diversos boletins e manuais técnicos voltados para excelência em segurança de barragens. Atualmente, o documento *Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams* publicado em 2019, é utilizado como referência para muitas barragens de mineração no mundo todo, uma vez que segundo a própria CDA (2019) tal boletim técnico foi desenvolvido através de uma coletânea dos principais conhecimentos desenvolvidos pelo ICOLD e pela *Mining Association of Canada* (MAC). E o mais interessante é que estas boas práticas se aplicam a quais quer tipos de barragens.

Especificamente, o texto da CDA (2019) sobre o gerenciamento da segurança de barragens tem como referência os boletins do ICOLD 154 (*Dam Safety Management:*



*Operational Phase of the Dam Life Cycle*), 175 (*Dam Safety Management: Pre-operational Phases of the Dam Life Cycle*, e o documento “*A Guide to the Management of Tailings Facilities*” publicado pela MAC em 2017.

Uma das primeiras ações apresentadas pela CDA (2019) é a classificação da barragem, considerando as consequências de uma possível ruptura, tendo como critérios: população em risco, perda de vidas, valores ambientais e culturais, infraestrutura e economia, conforme apresenta a Tabela 3-7.

Tabela 3-7 – Classificação de consequências segundo CDA.

Classificação da barragem	População em risco (*)	Perdas incrementais		
		Perda de vidas (**)	Valores ambientais e culturais	Infraestrutura e economia
Baixo	Nenhum	0	Perda mínima em curto prazo Sem perdas em longo prazo	Baixa perda econômica; área possui infraestrutura ou serviços limitados
Significante	Apenas temporário	Não especificado	Sem perdas significativas ou deterioração do habitat e da fauna aquática; Perda de habitat marginal apenas; Restauração ou compensação das espécies altamente possível	Perdas de instalações recreativas, locais de trabalho sazonais, e rotas de transporte usadas com baixa frequência
Alto	Permanente	10 ou menos	Perdas significativas ou deterioração importante do habitat e da fauna aquática; Restauração ou compensação das espécies altamente possível.	Alta perda econômica afetando infraestrutura, transporte público e instalações comerciais
Muito Alto	Permanente	100 ou menos	Perdas significativas ou deterioração crítica do habitat e da fauna aquática; Restauração ou compensação das espécies possível, porém impraticável.	Perda econômica muito alta, afetando infraestrutura ou serviços como rodovias, instalações industriais, instalações de

Classificação da barragem	População em risco (*)	Perdas incrementais		
		Perda de vidas (**)	Valores ambientais e culturais	Infraestrutura e economia
				armazenamento de materiais perigosos
Extremo	Permanente	mais de 100	Grande perda crítica do habitat e da fauna aquática; Restauração ou compensação das espécies impossível.	Perda econômica extrema, afetando infraestrutura ou serviços críticos como hospitais, complexos industriais, instalações de armazenamento de materiais perigosos
<p>* - Definição da população em risco</p> <p>Nenhum : Não existe nenhuma população em risco identificada, então não é possível haver perda de vidas, a não ser por uma desventura;</p> <p>Temporário: Pessoas estão de forma temporária na zona de risco da mancha de inundação ( uso sazonal de casas de campo, passando por rotas de transporte, ou participando de atividades recreativas);</p> <p>Permanente: População está locada na zona de risco da mancha de inundação</p>				
<p>** - Implicações para perda de vidas</p> <p>Não especificado: O nível adequado de segurança exigido em uma barragem onde as pessoas estão temporariamente em risco depende do número de pessoas, do tempo de exposição, da natureza de suas atividades e de outras condições. Uma classe superior pode ser apropriada, dependendo dos requisitos. No entanto, o requisito de inundação de projeto, por exemplo, pode ser menor se a população temporária não estiver presente durante a estação das cheias.</p>				

Fonte: CDA (2019)

Com base nessa classificação, a CDA recomenda diversos parâmetros de projeto que visam manter a segurança da barragem. Para classificações mais extremas os parâmetros são mais conservadores, e para classificações mais brandas os critérios são menos conservadores. Dessa forma, serão apresentados a seguir os principais critérios (aplicáveis a quaisquer tipos de barragens) hidrológicos, hidráulicos e geotécnicos, propostos pela CDA (2019) e que são seguidos por diversas mineradoras no mundo para atender um padrão internacional de segurança.

Um dos parâmetros hidrológicos mais importantes é a chuva de projeto, que segundo a CDA (2019) é a chuva que irá gerar uma vazão afluyente que irá expor o reservatório e a barragem às condições mais severas previstas no projeto. Dessa forma, baseada na classificação de consequência, a CDA recomenda que as chuvas de projeto sejam selecionadas conforme a probabilidade de excedência anual, conforme mostra a Tabela 3-8.

Tabela 3-8 - Referência para seleção da chuva de projeto

Classificação da barragem	Probabilidade de excedência anual (*)
Baixo	1/100
Significante	Entre 1/100 e 1/1000 (**)
Alto	1/3 entre 1/1000 e PMP (***)
Muito Alto	2/3 entre 1/1000 e PMP (***)
Extremo	PMP (***)
PMP: Precipitação máxima provável; PEA: Probabilidade de excedência anual; *: Uma extrapolação estatística simples além de 1/1000 PEA não é aceitável; **: Selecionado com base na análise incremental da cheia de projeto, exposição e consequência de falhas; ***: A PMP não está associada a PEA	

Fonte: CDA (2019)

Outro critério hidrológico/hidráulico muito importante é a borda livre da barragem. Este tópico é melhor explicado no *Dam Safety Guidelines* publicado pela CDA em 2013. Conforme esta referência, a borda livre deve ser determinada para condições normais e extremas, atendendo o objetivo de minimizar a probabilidade de galgamento da estrutura pelo efeito das ondas que são geradas no reservatório (CDA, 2013). Ainda, deve ser considerado o tipo de estrutura para se determinar tal parâmetro, as estruturas de aterro compactado devem apresentar critérios mais rigorosos uma vez que não suportam o

galgamento. Já estruturas em concreto possuem critérios menos rigorosos, uma vez que o galgamento não apresenta as mesmas consequências severas (CDA, 2013).

Dessa forma, para as barragens de aterro compactado, a CDA (2013) recomenda que seja determinada a crista da estrutura para o cenário mais crítico entre os seguintes:

- Dimensionar de forma que não ocorra galgamento para 95% das ondas geradas por ventos com 1/1000 de probabilidade de excedência anual, considerando o nível de água do reservatório em sua elevação máxima normal;
- Dimensionar de forma que não ocorra galgamento para 95% das ondas geradas por ventos associados a um evento de precipitação utilizado como chuva de projeto, considerando o nível de água do reservatório no máximo *maximorum* durante a passagem da cheia de projeto.

Os ventos críticos a serem selecionados dependem da classificação de consequência da barragem, onde para as barragens classificadas como baixa, a CDA (2013) recomenda uma PEA de 1/100, já para classificação significativa a PEA de 1/10 e para classificações superiores a PEA deve ser de 1/2.

Quanto aos critérios de sismicidade, a CDA (2019) recomenda parâmetros de probabilidade de excedência anual para terremotos, também baseada na classificação de consequência, conforme apresenta

Tabela 3-9.

Tabela 3-9 - Valores de referência de probabilidade de excedência anual para terremotos

Classificação da barragem	Probabilidade de excedência anual - Terremotos (*)
Baixo	1/100 PEA
Significante	Entre 1/100 e 1/1000
Alto	1/2475 (**)
Muito Alto	1/2 entre 1/2475 (**) e 1/10000 ou TMC (***)
Extremo	1/10000 ou TMC (***)
TMC: Terremoto máximo crível; PEA: Probabilidade de excedência anual;	

Classificação da barragem	Probabilidade de excedência anual - Terremotos (*)
<p>*: Valores médios da estimativa da faixa de PEA para terremotos podem ser usados. Os terremotos selecionados conforme o PEA aqui descritos, devem ser usados como dados de entrada para a elaboração do <i>Earthquake design ground motion</i> (EDGM) conforme descreve o item 6.5 do documento CDA (2013);</p> <p>** : Este critério foi levantado conforme a consistência de dados apresentados no <i>National Building Code of Canada</i>;</p> <p>***: O TMC não está associado a PEA</p>	

Fonte: CDA (2019)

Ainda, a CDA (2019) apresenta os parâmetros de fator de segurança de estabilidade dos taludes, das barragens de aterro compactado, na condição estática e pseudo-estática, conforme mostra a Tabela 3-10 e a Tabela 3-11.

Tabela 3-10 - Fatores de segurança mínimos para estabilidade dos taludes das barragens de aterro compactado

Condição de carregamento	Fator de segurança mínimo	Talude
Durante ou no fim da construção	> 1,3 dependendo da avaliação de risco durante a construção	Usualmente talude de jusante
Longo termo (nível da freática estabilizada, reservatório em nível normal de operação)	1,5	Talude de jusante
Rebaixamento rápido (completo ou parcial)	1,2 a 1,3	Talude de montante

Fonte: CDA (2019)

Tabela 3-11 - Fator de segurança mínimo para condições pseudo-estáticas

Condição de carregamento	Fator de segurança mínimo
Pseudo-estática	1
Pós-terremoto	1,2

Fonte: CDA (2019)

Por fim, quanto a gestão da segurança das barragens, a CDA (2019) cita como referência a organização apresentada pela MAC. Dessa forma os elementos chave, dessa estrutura são: Política e compromisso, planejamento, implementação, avaliação de performance e revisão da gestão para melhoria contínua. Quem executa de fato estas ações, são os principais responsáveis pela barragem, que conforme CDA (2019) devem ser: quadro de diretores dos donos do empreendimento; executivo responsável pelo empreendimento; o responsável técnico, o engenheiro de registro (EdR) e os auditores independentes.

A CDA (2019) ainda mostra em detalhes o papel de cada um destes agentes, de forma bem definida. Também é proposto uma matriz RACI (Responsável, Autoridade, Consultado e Informado), deixando de forma clara os responsáveis por cada atividade que envolve a segurança da estrutura. Com estas funções bem definidas e este tipo de organização, a ideia é que haja redundância, suporte técnico e otimização do processo de gestão da segurança do barramento. O exemplo fornecido pela CDA (2019) é apresentado na x. Foram mantidas as siglas em inglês para que o leitor possa pesquisar pelos termos citados.

Tabela 3-12 – Exemplo de matriz RACI fornecido pela CDA, visando as barragens de mineração.

RACI	Empreendedor / Executivo Responsável	Engenheiro de projeto (interno ou externo)	Engenheiro de Registro EOR (interno ou externo)	Responsável (interno)	Equipe de operações (interna)
<b>Organizacional</b>					
Caracterização do site e do projeto					
Documentação e manutenção da base de projeto					
Realizar uma caracterização abrangente do local (por exemplo, caracterização do local e dos resíduos, sismicidade, geologia, geotecnia, hidrologia, hidrogeologia, empréstimo de materiais, gestão da água, etc.)					
Realizar uma Avaliação Ambiental e estabelecer programas de monitoramento/relatórios regulatórios.					
Aplicar a Melhor Tecnologia Disponível (BAT) e projetar tendo em mente o fechamento e a garantia financeira.					
Concluir um projeto abrangente de instalações e um plano de fechamento com custos associados					
Realizar Registro e análise de risco					
Definir e documentar Objetivos de Desempenho Quantificáveis (QPOs).					
Obter licenças e aprovações regulatórias					
Elaborar o pacote Emitido para Construção (IFC) (ou seja, desenhos lacrados, especificações técnicas e estimativa de custo).					
Elaborar o plano de instrumentação					
Elaborar um Manual de Operações, Manutenção e Vigilância (OMS) com QPOs e limites para comunicação/ação					
Elaborar Planos de Emergência, incluindo possíveis impactos e ações de liberação de rejeitos					
<b>Construção</b>					
Fornecer recursos para construir de acordo com o projeto usando métodos e materiais apropriados					
Preparar/seguir um plano de gerenciamento de construção, incluindo um plano de controle de qualidade e garantia de qualidade					
Monitorar a construção quanto à qualidade e conformidade com as especificações					

RACI	Empreendedor / Executivo Responsável	Engenheiro de projeto (interno ou externo)	Engenheiro de Registro EOR (interno ou externo)	Responsável (interno)	Equipe de operações (interna)
Monitorar a construção quanto à qualidade e conformidade com as especificações					
Garantir que a construção esteja em conformidade com as premissas de projeto					
Certificar-se de que a instrumentação esteja instalada e é eficaz					
Manter registros de construção e preparar desenhos “como construído” ou “registro de construção”. Para barragens que estão sendo levantadas anualmente, isso também incluiria um relatório anual de construção.					
Operação					
Desenvolver e seguir procedimentos operacionais (ou seja, deposição de rejeitos e planos de gestão de água)					
Aplicar as Melhores Práticas Disponíveis/Aplicáveis (BAP) para os estágios de projeto, construção, operações e fechamento					
Fornecer suporte contínuo e supervisão técnica para garantir que as operações estejam em conformidade com a intenção do projeto					
Planejar e implementar um programa de manutenção					
Manter o Manual do OMS e atualizar os limites de ação					
Realizar inspeções de rotina e monitoramento					
Gerenciar controles críticos (ou seja, identificar/implementar controles específicos do local e de governança para gerenciar riscos)					
Executar e manter treinamento e comunicações de perigo					
Realizar Inspeções de Segurança de Barragens (DSI)					
Coordenar Revisões de Segurança de Barragens (DSR)					
Atualizar o Plano de Fechamento e revisar as obrigações de Garantia Financeira					
Manter as licenças, monitorar o desempenho e relatar a conformidade regulatória					
Revisar periodicamente a análise de riscos e modos de falha e efeitos (FMEA)					
Confirmar, manter e testar Planos de Preparação para Emergências (EPP) e Planos de Resposta a Emergências (ERP)					



RACI	Empreendedor / Executivo Responsável	Engenheiro de projeto (interno ou externo)	Engenheiro de Registro EOR (interno ou externo)	Responsável (interno)	Equipe de operações (interna)
Avaliar e controlar a segurança pública e os riscos de acesso					
Manter registros de desempenho e operação e documentação pertinente					
Preparar, rastrear, documentar e aprovar mudanças de projeto e operação					
Revisar e atualizar o registro de riscos e a análise de riscos					
Preparar relatório anual sobre Operações, Desempenho, Mudanças de Projeto/Operação e Revisão Independente					
<b>Fechamento</b>					
Atualizar plano de descomissionamento e fechamento e garantia financeira					
Obter licenças e aprovações regulatórias para o plano de fechamento					
Implementar medidas do plano de fechamento					
Desenvolver e implementar programas de monitoramento para garantir a conformidade com os planos e requisitos regulamentares					
Gerenciar controles críticos (ou seja, identificar e implementar controles específicos do local e de nível de governança para gerenciar riscos de alta consequência)					
Manter registros de desempenho e operação e documentação pertinente					
Conduzir as Inspeções de Segurança de Barragens (DSI)					
Coordenar Revisões de Segurança de Barragens (DSR)					
Gerenciar a segurança do local e realizar patrulhas periódicas das principais instalações					
Revisar as alterações de design/desempenho/carga extrema e aprove as principais modificações					

Fonte: CDA (2019)

### 3.2.3 Austrália

Na Austrália, quem desempenha um papel muito semelhante ao da CDA no Canadá, é o *Australian National Committee On Large Dams* (ANCOLD) que se denomina como uma associação de órgãos e profissionais individuais com interesse nas barragens

australianas. O ANCOLD foi formado em 1937 e hoje representa a Austrália no ICOLD, também possui o objetivo de dar suporte, disseminar conhecimento, desenvolver capacidade e gerar diretrizes que buscam a excelência em todos os aspectos de gestão e engenharia de barragens (ANCOLD, 2022).

Atualmente o documento mais completo produzido pelo ANCOLD que contempla as diretrizes e parâmetros adotados para segurança das barragens de mineração na Austrália é o *Guideline on Tailing Dams* produzido em 2012 e atualizado em 2019. Como os parâmetros e diretrizes aplicadas as barragens de mineração são mais rigorosos, estes podem ser adotados as demais barragens desde que se apliquem no caso em questão. Dessa forma este documento também é bastante utilizado como referência para diversas barragens no mundo.

O ANCOLD também apresenta seus parâmetros de projeto para as barragens, em função da classificação de consequência de uma possível ruptura. Dessa forma, tal classificação é realizada conforme um processo avaliação de risco, considerando o potencial modo de falha e suas consequências para o empreendimento, para a sociedade, o meio ambiente e o potencial de perda de vidas humanas, conforme apresentam as Tabela 3-13 e Tabela 3-14 (ANCOLD, 2012).

Tabela 3-13 - Severidade dos impactos segundo ANCOLD

Tipo do dano	Pequeno	Médio	Grande	Catastrófico
Infraestrutura (barragem, casas, comércios, fazendas, comunidades)	<\$10M	\$10M - \$100M	\$100M - \$1B	>\$1B
Importância para o Negócio	Algumas restrições	Impactos significantes	Grave a incapacitante	Dissolução do negócio; Falência
Saúde pública	< 100 pessoas afetadas	100 - 1000 pessoas afetadas	<1000 pessoas afetadas ou impactos por mais de um mês	>10000 pessoas afetadas por mais de um ano

Tipo do dano	Pequeno	Médio	Grande	Catastrófico
Deslocamento social	< 100 pessoas ou <20 meses de negócio	100 - 1000 pessoas ou 20 - 2000 meses de negócio	>1000 pessoas ou >200 meses de negócios	>10000 pessoas ou numerosas falhas nos negócios
Área impactada	< 1km <sup>2</sup>	< 5 km <sup>2</sup>	< 20km <sup>2</sup>	> 20km <sup>2</sup>
Duração do impacto	< 1 (seco) ano	< 5 anos	<20 anos	>20 anos
Impacto no meio ambiente	Danos limitados a itens de baixo valor de conservação (por exemplo, terras degradadas ou desmatadas, riachos efêmeros, flora e fauna não ameaçadas). Remediação possível.	Efeitos significativos nas terras rurais e na flora e fauna locais. Efeitos limitados sobre: A. Item(ns) do patrimônio natural local e estadual. B. Flora e fauna nativas dentro de reservas florestais, aquáticas e de conservação, ou corredores de habitats reconhecidos, pântanos ou áreas de criação de peixes.	Efeitos rurais extensos. Efeitos significativos no sistema fluvial e nas áreas A e B. Efeitos limitados em: C. Item(ns) do patrimônio natural nacional ou mundial. D. Flora e fauna nativas dentro de parques nacionais, áreas selvagens reconhecidas, áreas úmidas RAMSAR e reservas aquáticas protegidas nacionalmente. Remediação difícil	Afeta extensivamente as áreas A e B. Afeta significativamente as áreas C e D. A remediação envolve ecossistemas significativamente alterados.

Fonte: ANCOLD (2012)

Esta primeira classificação deve ser realizada, e então seleciona-se o pior caso identificado (pequeno, médio, grande ou catastrófico). Com essa informação, é feito o cruzamento com a Tabela 3-14, através da população sob risco. Ao cruzar tais informações é obtida a classificação de consequência da barragem, podendo ser muito baixo, baixo, significante, alto C, alto B, alto A e extremo, nesta sequência de gravidade.

Esta então é a base para definição dos parâmetros de segurança das barragens australianas, que serão apresentados a seguir (ANCOLD, 2012).

Tabela 3-14 - Classificação de consequência segundo ANCOLD

População sob risco	Severidade dos danos e perdas			
	Pequeno	Médio	Grande	Catastrófico
<1	Muito baixo	Baixo	Significante	Alto C
>1 até 10	Significante (**)	Significante (**)	Alto C	Alto B
>10 até 100	Alto C	Alto C	Alto B	Alto A
>100 até 1000	(*)	Alto B	Alto A	Extremo
>1000		(*)	Extremo	Extremo

Nota: A, B e C são subdivisões da categoria "Alto" onde A é o maior nível e o C o menor;

\*: Caso a população sob risco seja maior que 100, o dano não pode ser pequeno. Da mesma maneira, se a população sob risco exceder 1000 o dano não pode ser médio;

\*\* : Mudar para "Alto C" onde houver o potencial de perda de vida de uma ou mais pessoas. O potencial de perda de vidas depende da mancha de inundação, especialmente da profundidade e da velocidade do escoamento.

Fonte: ANCOLD (2012)

Quantos aos principais parâmetros hidrológicos e hidráulicos aplicados pelo ANCOLD (2012) que podem ser aplicados as demais barragens, destacam-se o período de retorno selecionado para a chuva de projeto e a borda livre das barragens. Tais parâmetros são os apresentados na

Tabela 3-15, conforme pode se observar, estes dependem da classificação de consequência.

Tabela 3-15 - Recomendação de valores mínimos para chuva de projeto e borda livre, conforme ANCOLD

Classificação de consequência	Chuva de projeto	Borda livre
Baixo	PEA de 1/100	Altura de onda associada a ação de ventos com PEA de 1:10

Classificação de consequência	Chuva de projeto	Borda livre
Significante	PEA de 1/1000	Altura de onda associada a ação de ventos com PEA de 1:10
Alto Ou	PEA de 1/100000	Altura de onda associada a ação de ventos com PEA de 1:10
	PMP	Nenhuma
Extremo	PMP	Determinar por análise de risco
Notas - PMP: Precipitação máxima provável; PEA: Probabilidade de excedência anual.		

Fonte: ANCOLD (2012)

O ANCOLD (2012) cita que para a análise de estabilidade das barragens construídas em aterro compactado na área da mineração, usualmente se utilizam métodos de equilíbrio limite. Alguns métodos consideram todas as condições de equilíbrio estático, no caso equilíbrio de forças e de momentos, já outros métodos, consideram apenas uma destas condições. Dessa forma, os métodos de análise de estabilidade recomendados pelo ANCOLD (2012) são: Bishop (1955), Morgsten *and* Price (1965), Spencer (1967), Chen *and* Morgsten (1983) e Sarma (1973), uma vez que estes métodos fazem considerações de esforços e momentos compreendidos como razoáveis e aplicáveis para barragens de aterro compactado.

Além de se determinar o método de cálculo da estabilidade, também é necessário se conhecer as condições de carregamento que o barramento está sujeito. O ANCOLD (2012) destaca que estes podem ser o carregamento drenado e não drenado. O primeiro considera que todo excesso de poro pressão causado pelo carregamento, ou descarregamento, foi dissipado. Tal consideração se faz quando se possui um processo lento de construção ou tempo suficiente após esta etapa. Além disso, também se considera que as poropressões induzidas por cisalhamento são zero, devido a lenta taxa de cisalhamento durante uma possível ruptura. Em suma, esta condição representa a estabilidade de longo termo da barragem, onde não ocorre mudança brusca no nível da freática nem na geometria da estrutura.

Já o carregamento não drenado ocorre quando o aterro ainda está sujeito ao excesso de poro pressão induzida, em casos onde o carregamento ou falha acontece em uma velocidade tal que não permite a drenagem, ou em condições onde a poropressão é originada pela natureza contrativa do material do aterro e da fundação (ANCOLD, 2012). Os fatores de segurança mínimos para estes tipos de carregamentos são apresentados na Tabela 3-16.

Quanto aos critérios sísmicos o ANCOLD (2012) alerta que deve se projetar a barragem para suportar sismos que podem ocorrer durante a fase operacional, denominado Terremoto de Base Operacional (TBO), neste caso o barramento sofre danos, mas não críticos. Ainda na fase operacional deve-se considerar o Terremoto máximo de projeto (TMP), qual o barramento irá apresentar severos danos, mas não sem que ocorra o rompimento da barragem ou o vazamento incontrolável de rejeitos. Existem diretrizes e documentos específicos para elaboração destes estudos, mas os critérios adotados pelo ANCOLD (2012) são apresentados na Tabela 3-17.

Tabela 3-16 - Fatores de segurança mínimos segundo ANCOLD

Condição de carregamento	Fator de segurança mínimo	Resistência ao cisalhamento a ser usada para avaliação
Drenado de longo termo	1,5	Cisalhamento efetivo
Não drenado curto prazo, com potencial de perda material retido no reservatório	1,5	Resistência não drenada consolidada
Não drenado curto prazo, sem potencial de perda material retido no reservatório	1,3	Resistência não drenada consolidada
Pós sismo	1,0 - 1,2 (*)	Resistência ao cisalhamento pós sismo (**)
Notas: *: Para se obter confiança na seleção da resistência ao cisalhamento residual. 1,0 pode ser adequado		

para limite inferior;

\*\* : Resistência ao cisalhamento não drenado/drenado ciclicamente reduzida e/ou resistência ao cisalhamento residual liquefeito para materiais potencialmente liquefeitos.

Fonte: ANCOLD (2012)

Tabela 3-17 - Parâmetros de projeto para terremotos segundo ANCOLD

Classificação de consequência	Fase operacional		Pós fechamento
	TBO	TMP	
Baixo	PEA de 1/50	1/100	TMC
Significante	PEA de 1/100	1/1000	TMC
Alto/extremo	PEA de 1/1000	1/10000	TMC
Notas - PEA: Probabilidade de excedência anual; TBO: Terremoto de Base Operacional; TMP: Terremoto máximo de projeto; TMC: Terremoto máximo crível			

Fonte: ANCOLD (2012)

### 3.3 HISTÓRICO E DEFINIÇÃO DO TERMO ENGENHEIRO DE REGISTRO (EDR)

O termo inicial criado nos Estados Unidos foi o *Engineer of Records* (EoR) que atualmente no Brasil foi traduzido como Engenheiro de Registro (EdR), conforme apresentado no artigo 2º da Resolução nº 95 da ANM (ANM, 2022). Embora este termo seja extremamente recente no nosso País a aplicação do EdR remonta a década de 70, iniciado nos Estados Unidos, através do primeiro registro observado no documento “Code of Standard Practice” produzido pela *American Institute of Steel Construction* (AISC). Nesta época o escopo de trabalho do EdR se restringia ao projeto estrutural de grandes construções, principalmente pontes (USSD & CDA, 2020).

Em 1981 ocorreu um notório acidente na passarela do hotel *Hyatt Regency* em Kansas City, onde 141 pessoas morreram. Dessa forma foi observado nos Estados Unidos como um todo, uma maior preocupação com guias de boas práticas de



engenharia, e leis mais rigorosas, visando aumentar a segurança estrutural das construções civis (USSD & CDA, 2020).

Dessa forma em 1983 a *American Society of Civil Engineers* (ASCE) convocou um comitê para estudar o acidente da passarela do hotel *Hyatt Regency*, como resultado destes estudos foi publicado uma declaração denominada “Autoridade e Responsabilidade para projetos de estruturas em aço” em 1985. O relatório do estudo também apresentou a definição do Engenheiro de Registro Estrutural da seguinte forma:

*“O engenheiro profissional licenciado que desenvolve os critérios de projeto e o conceito da estrutura, realiza a análise e é responsável pela elaboração dos desenhos e especificações do projeto. O EdR é comumente identificado pelo selo do engenheiro profissional nos desenhos de projeto. Se o EdR for um consultor, ele pode ser o profissional principal ou um profissional associado trabalhando para um arquiteto, planejador ou gerente de construção.”* (USSD & CDA, 2020)

A partir desta publicação uma série de órgãos vieram a se manifestar incluindo a definição do EdR em seus documentos, podendo-se citar os principais como (USSD & CDA, 2020):

- 1989: *Council of American Structural Engineers* (CASE) publica a Diretriz 962: “National Practice Guideline for the Structural Engineer of Record”;
- 1990: AISC publica uma revisão de seu código de práticas padrão, citando:

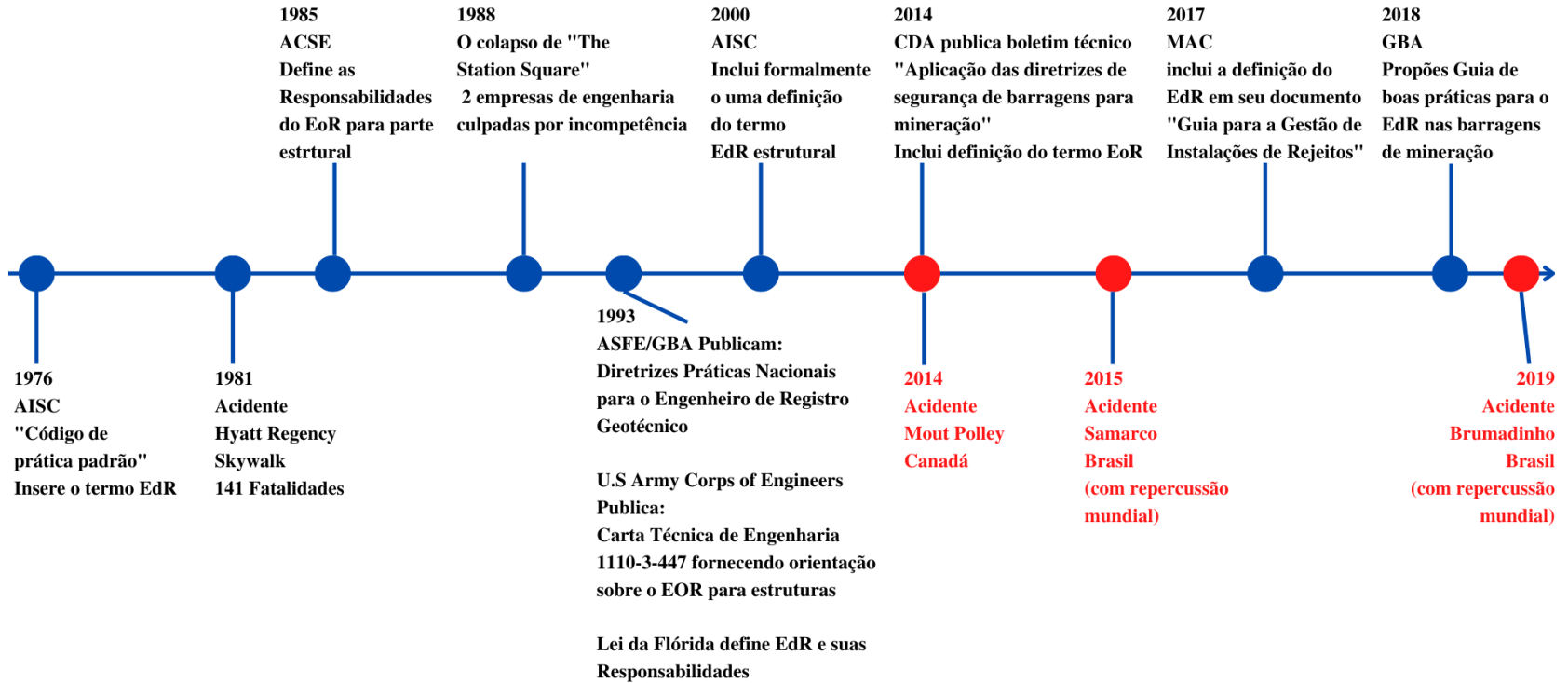
*“Desde o início do Código de Práticas Padrão, a AISC e a indústria em geral reconheceram que o engenheiro de registro é o único indivíduo que possui todas as informações necessárias para avaliar o impacto total dos detalhes da conexão do projeto estrutural geral. Esta autoridade tem sido tradicionalmente exercida durante o processo de aprovação para desenhos de oficina e montagem.”* (USSD & CDA, 2020);

- 1993: Flórida aprova a Regra 61G15-30, fornecendo “Regras de responsabilidade comuns a todos os engenheiros”;
- 1993: *American Society of Foundation Engineers (ASFE)/Geoprofessional Business Association (GBA)* publica “National Practice Guideline for the Geotechnical Engineer of Record”;
- 1993: O Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA emite a Carta Técnica de Engenharia 1110-3-447 fornecendo orientação sobre o EdR para estruturas;
- 2000: AISC inclui formalmente uma definição do Engenheiro Estrutural de Registro.

Como pode-se observar, o EdR nasceu na engenharia estrutural, porém ao observar sua aplicação e benefícios as principais organizações começaram a aplicar o conceito para as mais diversas obras civis, dentre elas a construção e operação de barragens. Em 2012 a CDA já endereçava um estudo sobre a aplicação de boas práticas de engenharia para a segurança das barragens de mineração, o resultado destes estudos foi a publicação de um boletim técnico em 2014, que incluiu a definição do termo EdR para as barragens em questão (USSD & CDA, 2020).

Neste mesmo ano ocorreu o rompimento de uma barragem localizada na mina de Mount Polley, em British Columbia, Canadá. Tal evento foi considerado um cataclisma, e as principais agências de mineração começaram a trabalhar imediatamente na atualização da definição e das obrigações do EdR. Logo após tal rompimento, a *Minning Association of Canada (MAC)* montou uma força tarefa para identificar melhorias no sentido de se possuir um gerenciamento de toda atividade de mineração de forma mais sustentável. Dessa maneira a MAC propôs a atualização da definição de EdR e uma nova maneira de gerir as responsabilidades do empreendedor, portanto, foi inserido o EdR nessa cadeia. Em 2017 a MAC publicou então seu guia de boas práticas para instalações de rejeitos, contemplando estas alterações. Neste documento foi verificado uma importante mudança de pensamento, exigindo que o empreendedor defina de forma clara a responsabilidade, autoridade e o papel de 5 principais posições, sendo uma delas o EdR (USSD & CDA, 2020). Alinha do tempo do histórico apresentado até aqui, pode ser verificada na Figura 3-8.

Figura 3-8 - Histórico da evolução do Engenheiro de Registro



Fonte: Adaptado de USSD & CDA (2020)

A definição do que é o EdR para as barragens de mineração, em contexto internacional, vem de três principais agências, conforme se apresenta a seguir (USSD & CDA, 2020):

- **MAC:** O proprietário, ao garantir que uma instalação de rejeitos seja segura, possui a responsabilidade de identificar e manter um EdR que tem o papel principal de fornecer orientação técnica em nome do proprietário da barragem. Dessa forma fica como responsabilidade do EdR: Verificar se o projeto completo da instalação de rejeitos atende os objetivos, indicadores de desempenho, diretrizes aplicáveis, normas e requisitos legais; verificar se toda a instalação de rejeitos foi construída e se está executando, ao longo de toda ciclo de vida, de acordo com os objetivos, indicadores de desempenho, diretrizes aplicáveis, normas e requisitos legais.
- **CDA:** O EdR fornece conhecimento técnico relacionado a barragem de mineração, e verifica se esta estrutura e seus componente foram projetados de acordo com objetivos e indicadores de desempenho, diretrizes aplicáveis, padrões e requisitos regulatórios; se foram construídos e se estão executando, ao longo de toda ciclo de vida, de acordo com os objetivos, indicadores de desempenho, diretrizes aplicáveis, normas e requisitos legais.
- **GBA:** O EdR informa ao proprietário se toda a instalação e seus componentes foram projetados de acordo com objetivos e indicadores de desempenho, diretrizes aplicáveis, padrões e requisitos regulatórios; foram construídos, ou estão sendo construídos, de acordo com o projeto, ou que quaisquer alterações no projeto implementadas durante a construção sejam igualmente consistentes e apropriadas à intenção do projeto; estão executando e sendo operados, ao longo do ciclo de vida, de acordo com a intenção do projeto, objetivos e indicadores de desempenho, diretrizes aplicáveis, normas e requisitos regulatórios.

Atualmente, em contexto nacional, a ANM também publicou a sua definição de EdR, acompanhando as recomendações das principais agências internacionais, sendo esta:

“Engenheiro de Registros (EdR): profissional externo à empresa, com registro no CREA, capaz de apoiar a aplicação dos procedimentos recomendados às boas práticas de segurança, respaldado pelos regulamentos, diretrizes e normas aplicáveis no âmbito nacional e internacional” (ANM, 2022);

É possível verificar um acordo do conceito entre todas as agências nacionais e internacionais, onde a ideia principal é de que o EdR seja um profissional independente com capacidade de fornecer conhecimento técnico ao proprietário da barragem, realizando recomendações, apoiado pelos principais guias de boas práticas de engenharia, que visam aumentar a segurança da barragem.

Com o conhecimento adquirido ao decorrer de todo o tempo de aplicação dos EdR's nas barragens canadenses, a USSD & CDA (2020) cita que tal profissional consegue implementar a liderança e a coesão de todas as equipes que trabalham na segurança de barragens (visto que são diversas equipes multidisciplinares), fornecendo para o proprietário da barragem mais recursos para uma tomada de decisão sólida, do ponto de vista técnico e de negócio; ajuda o proprietário a possuir compromisso com a segurança e a sustentabilidade da barragem e de todas as instalações, apresentando tais conceitos aos interessados no projeto; apoia no cumprimento das regulamentações vigentes, programas de qualidade técnica e ambiental, e garante que as documentações legais sejam emitidas; garante que a equipe técnica do proprietário esteja ciente dos métodos adequados de operação, instalação e manutenção; e por fim o EdR está sempre preparado para responder caso aconteça situações adversas na barragem, uma vez que faz monitoramento contínuo.

Quanto aos deveres do EdR, a USSD & CDA (2020) ressalta:

- Relatar ao proprietário quaisquer preocupações profissionais e ambientais relacionadas à segurança da barragem e de seus componentes;
- Cumprir os requisitos regulamentares através da emissão dos relatórios e documentos solicitados pelas agências e regulações em vigor;
- Apresentar o conceito idealizado pelo proprietário quanto às possíveis mudanças, seja no planejamento ou na implementação;

- Manter a aplicação das boas práticas e padrões de engenharia de barragens;
- Providenciar orientação profissional objetiva em relação a tecnologias inovadoras;
- Buscar a revisão por pares (chamada “peer review”) dos itens e informações críticas, solicitando análise de especialistas no assunto;
- Ser o suporte da revisão de terceiros e dos auditores internacionais independentes.

Quanto a essência do profissional EdR, a USSD & CDA (2020) cita que este profissional é:

- Parte integrante da equipe de gerenciamento de riscos da segurança da barragem;
- Um consultor confiável;
- Um indivíduo que possui suporte de uma empresa com um time de especialistas em segurança de barragens;
- Um profissional que insiste em trabalhar em altíssimo nível técnico;
- Assertivo, quanto aos requisitos técnicos de projeto, com a equipe de pessoal sênior do proprietário;
- Capaz de abordar uma ampla gama de problemas.

Por fim a USSD & CDA (2020) recomenda que o EdR possua as seguintes qualificações técnicas:

- Que possua conhecimento e experiência proporcionais à complexidade e às possíveis consequências de uma ruptura da barragem;
- Possua no mínimo 10 anos de experiência em engenharia de barragens, principalmente em construção e operação;
- Seja bacharel em uma das disciplinas da engenharia civil;
- Tenha experiência em barragens de classificação extrema;
- Possua o conhecimento da regulação atual vigente e das boas práticas internacionais de engenharia de barragens;
- Seja devidamente registrado no órgão competente local.

Em contexto nacional, até o momento, o único documento que define as obrigações do EdR para as barragens de mineração é a Resolução ANM nº 95, que explicita o seguinte:

*“Art. 65. Deve ser designado um Engenheiro de Registro (EdR) para todas as barragens que possuírem DPA alto.*

*§ 1º O EdR deverá avaliar a estrutura continuamente, emitindo relatórios, com ART, que considerem se os objetivos de desempenho, parâmetros de segurança, diretrizes, padrões aplicáveis e requisitos legais vem sendo alcançados, considerando todo seu ciclo de vida.*

*§ 2º O EdR deverá ser externo à empresa, não deverá compor a equipe de manutenção e operação da barragem e tampouco ser o emissor da RPSB.*

*§ 3º O EdR deverá cumprir os requisitos previstos na alínea “a” do inciso I do art. 60.*

*§ 4º O EdR deverá compor a equipe multidisciplinar do Processo de Gestão de Risco.*

*§ 5º O EdR poderá ser o emissor do RISR.” (ANM, 2022);*

### 3.4 APLICAÇÃO DO ENGENHEIRO DE REGISTRO EM SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO NO BRASIL

Atualmente no Brasil, as mineradoras estão seguindo a tendência de realizar a gestão da segurança de suas barragens, conforme os padrões internacionais. Como a CDA é referência no assunto, o processo de gestão e a definição das diretrizes de segurança estão sendo elaborados conforme os boletins técnicos emitido pela mesma. Sendo assim, para entender como se dá a aplicação do EdR, é primeiro necessário entender os conceitos principais propostos pela CDA (2019) para o atendimento completo da segurança e sustentabilidade das barragens de mineração.

Os elementos chave para se adquirir a segurança tanto técnica, quanto ambiental e social, segundo a CDA (2019) são: política e compromisso, planejamento, implementação, avaliação de performance e a revisão de todo gerenciamento para buscar a melhoria contínua. Dessa forma os empreendedores, devem se apoiar nestes conceitos para atingir: a proteção e segurança da saúde pública e do meio ambiente; o gerenciamento responsável dos materiais contidos nas barragens; alocar recursos compatíveis a necessidade do gerenciamento das barragens; e a aplicação do gerenciamento de segurança e sua filosofia junto aos seus colaboradores, contratados e consultores.

Existem cinco figuras principais que devem zelar pela aplicação destes conceitos e de todos procedimentos de segurança apresentados, além de exercer liderança e responsabilidade, são estes (CDA, 2019):

- Quadro de diretores do empreendedor ou de igual nível de governança;
- Diretor executivo responsável;
- Pessoa responsável (responsável técnico);
- Engenheiro de Registro (EdR);
- Consultores independentes.

A CDA (2019) cita que é de extrema importância que cada um destes papéis chave descritos acima, saibam de forma clara e objetiva as suas responsabilidades. Para isso foi desenvolvido uma matriz RASCI (*Responsible, Accountable, Support, Consulted, Informed*) para que seja preenchida em conjunto. Neste documento é citado que o papel do EdR é ser o suporte do proprietário.

Sendo assim, o EdR entra como um papel fundamental no gerenciamento da segurança da barragem, uma vez que deve fornecer ao proprietário expertise técnica de ponta, dar suporte contínuo no projeto, construção, operação e avaliação de performance da estrutura. Sempre tendo em mente o objetivo principal, verificar se a barragem foi projetada, construída e vem performando conforme os objetivos e indicadores de performance desejados, atendendo os padrões de segurança internacionais e as regulações locais.

Ainda, o EdR deve sempre avisar o proprietário, de forma antecipada, qualquer discrepância, e realizar recomendações que visam corrigir qualquer anomalia sempre no



intuito de se alcançar a melhoria contínua da segurança. Dessa forma, é recomendado que este profissional participe da criação e revisão, do manual de operações, manutenção e inspeção e o plano de ação de emergência, já que a visão holística do EdR e seu acompanhamento próximo tem muito a contribuir (CDA, 2019).

A CDA (2019) cita que o EdR pode ser da equipe interna do proprietário, ou um consultor externo. E como a gestão de segurança da barragem exige uma equipe multidisciplinar, o EdR deve ser suportado por uma equipe de especialistas, dentre eles: hidrólogos, hidráulicos, hidrogeólogos, geotécnicos, geólogos e ambientalistas.

Com os papéis do EdR bem definidos, para o melhor entendimento de sua atuação, pode-se observar um exemplo prático. Após o acidente de Brumadinho, o Ministério Público de Minas Gerais iniciou uma série de exigências à empresa VALE, que culminou em uma revisão completa do seu sistema de gerenciamento de segurança de barragens. No intuito de seguir as recomendações internacionais de segurança a VALE construiu um sistema de gestão, apoiado nas indicações da CDA e da MAC, como já visto anteriormente, os sistemas propostos por tais instituições incluem a aplicação do EdR, conforme apresentado a seguir.

Segundo VALE (2019) após os acidentes envolvendo suas barragens, suas análises foram intensificadas buscando aplicar ações preventivas e corretivas em todos seus barramentos, dentre essas ações as principais foram:

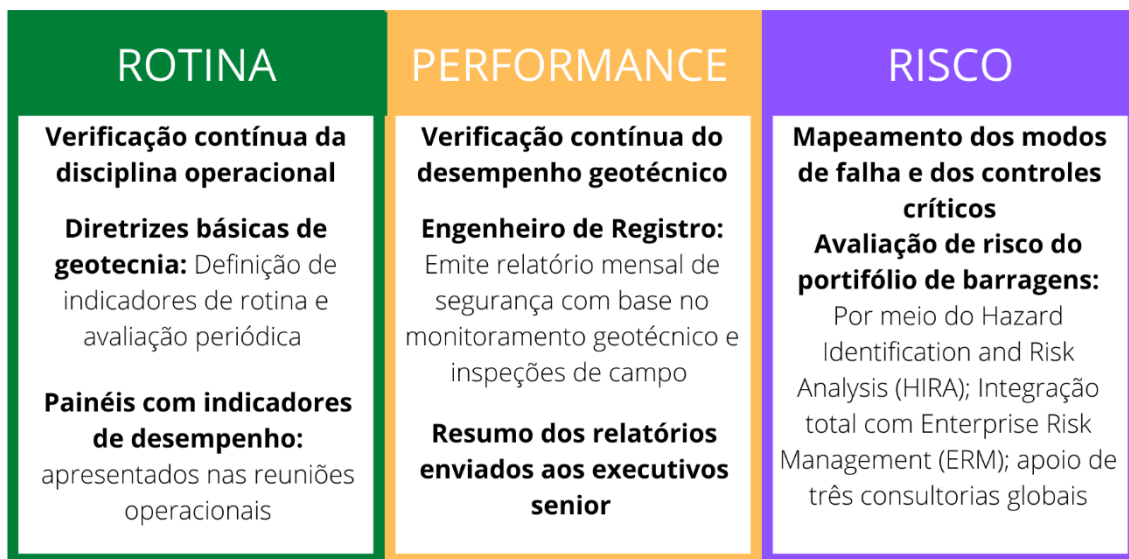
- A Diretoria de Segurança e Excelência Operacional, passou a se reportar diretamente ao CEO da empresa;
- Foi aplicada uma gestão de risco composta por três linhas de defesa;
- Foi criado o comitê independente de assessoramento extraordinário de segurança de barragens (CIAESB), que se reporta diretamente ao conselho administrativo;
- Foi formado um comitê específico para riscos geotécnicos;
- Aplicação de reforços adicionais para aumentar o fator de segurança das barragens;
- Foi implementado o centro de monitoramento geotécnico;
- Foi reestruturado seu sistema de gestão de barragens de rejeito de mineração.

Dentro dessa cadeia de gestão, está o sistema de gestão rotina, performance e risco (RPR). Tal sistema visa acompanhar (VALE, 2019):

- A Disciplina operacional (ou seja, a rotina aplicada a estrutura);
- A gestão da performance geotécnica da estrutura, realizada através de um acompanhamento contínuo e formal do EdR;
- A gestão de risco, através da identificação dos modos de falha e os respectivos controles críticos.

A organização deste sistema pode ser observada na Figura 3-9.

Figura 3-9 - Sistema de Gestão RPR aplicado pela VALE em suas estruturas



Fonte: VALE, 2019.

Para aplicar toda essa gestão, a VALE (2019) dividiu o seu sistema de gestão de risco em três linhas de defesa, sendo estas:

1. **Primeira linha de defesa:** Composta pelos executores dos processos do negócio, donos do risco, projetos, áreas administrativas e de suporte da empresa. São responsáveis por identificar, avaliar, monitorar e gerir os eventos de risco de forma integrada;
2. **Segunda linha de defesa:** Composta pela área de segurança ocupacional, gestão de risco, padronização, controle interno, conformidade legal, áreas especializadas (como excelência operacional, gestão de ativos...), que são responsáveis por supervisionar e dar suporte para a primeira linha de defesa;

3. **Terceira linha de defesa:** Compostas por áreas independentes à administração, como a auditoria interna e ouvidoria. São responsáveis por avaliar e inspecionar suas áreas de operações.

Para que este sistema de gestão possua proteção com redundância, ainda foram inseridas camadas adicionais, compostas por auditores independentes e externos a empresa, sendo estes: Engenheiro de Registro, Auditores independentes e Revisores de segurança de barragens. Todas as linhas e camadas podem observadas na Figura 3-10.

Figura 3-10 - Organização das três linhas de defesa propostas pela VALE em sua gestão de segurança de barragens

Unidades de negócio		Segurança e Risco	Auditoria Interna	Sentinelas Externos
Área Geotécnica Operacional	Área de Matriz de Geotecnia	Diretoria de segurança & Excelência operacional	Diretor de compliance (auditoria interna e canal de denúncias)	<b>Engenheiro de registro</b> Inspeções de segurança de barragens e avaliações de desempenho
				<b>Auditorias independentes</b> Revisões técnicas por promotores públicos e Tailings review board (TRB)
				<b>Revisão de segurança de barragens</b> Revisões técnicas periódicas por empresa de engenharia externa
1ª camada	2ª camada			
1º Linha de defesa		2º Linha de defesa	3º Linha de defesa	

Fonte: VALE, 2019.

Toda esta organização permite que a VALE cumpra com seus objetivos internos em relação a segurança das barragens e também as suas obrigações legais. Uma vez que o Ministério Público e a Agência Nacional de Mineração exigem constantes revisões periódicas de segurança física e hidráulica. As principais revisões são Relatório de Inspeção Regular (RISR) e Auditorias independentes solicitadas pelos Ministério Público (VALE, 2019b). Aqui já se verifica uma grande vantagem de se possuir um EdR, pois, como este faz o acompanhamento mensal, ele acaba realizando o RISR (o que é

permitido pela Resolução nº 95 da ANM). Além disso, o EdR é o suporte da empresa quando se aplica uma auditoria independente seja nacional ou internacional. O EdR apresenta a condição de segurança das estruturas e acompanha os auditores sanando todas as dúvidas e fornecendo os documentos solicitados (projetos de *as is*, RISR, *as built*, dados de instrumentação e afins).

Vale ressaltar que o EdR é registrado na ANM como um único profissional responsável, mas na prática este profissional trabalha para uma empresa que lhe fornece toda uma infraestrutura e uma equipe multidisciplinar, dessa forma, na prática, se possui um time de Engenharia de Registro que realiza todo o trabalho. Este time é representado pelo EdR.

Ainda é possível observar que nesta organização quem cuida da segurança contínua da barragem é a equipe de geotecnia do empreendedor, junto ao time do EdR que atuam na primeira linha de defesa. O acompanhamento mensal da performance inclui a inspeção de campo, que tem como resultado um relatório mensal. Tal relatório apresenta os indicadores e o conjunto de recomendações para se alcançar condições cada vez mais seguras para o barramento.

### 3.5 BARRAGENS DE ACÚMULO DE ÁGUA NO BRASIL

No último Relatório de Segurança de Barragens (RSB) publicado pela ANA no ano de 2021, foi verificada a existência de 22.654 barragens cadastradas no SNISB. Dessa forma de 2020 para 2021 foi verificado um aumento de 3% de barragens cadastradas (frente às 21.953 informadas no RSB de 2020). Tal aumento veio principalmente das seguintes órgãos: Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul - IMASUL (708 barragens), Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMAD/GO (330 barragens), Agência Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo – AGERH/ES (115 barragens), Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará – SEMAS/PA (94 barragens) (ANA, 2021). Ainda neste mesmo relatório, a ANA informa que 57% das barragens cadastradas não apresentam informações suficientes para a correta avaliação da estrutura, como por exemplo verificar se a barragem se enquadra ou não na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Não conseguir avaliar a condição de

segurança de 57% das barragens cadastradas por insuficiência de dados é uma situação crítica para a gestão de segurança das barragens brasileiras.

De todas as barragens cadastradas 34% são utilizadas para irrigação e 21% são utilizadas para fins de abastecimento humano, representando 1.866 e 1.145 barragens respectivamente. Em relação ao total de barragens cadastradas, 56% são de terra, ou seja, obras geotécnicas que podem ter sua segurança gerenciada conforme os princípios apresentados nesta pesquisa (ANA, 2021).

Dentre os empreendedores que mais possuem barragens como sua propriedade pode-se citar: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) com 228 barragens, a VALE S/A com 113 barragens, a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH/CE) com 91 barragens, a Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente (SEIRHMA/PB) com 84 barragens, a Companhia Pernambucana de Abastecimento (COMPESA) com 75 barragens, a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco (CODEVASF) com 61 barragens e por fim a Secretaria do Estado e do Meio Ambiente (SEMARH/RN) com 55 barragens. Dessa forma verifica-se que com exceção da VALE S/A, os demais empreendedores que mais possuem barragens são órgãos estaduais de meio ambiente e recursos hídricos, portanto são barragens de acúmulo de água (ANA, 2021).

Em relação ao atendimento à PNSB, a ANA (2021) informa que para as barragens que se enquadram na PNSB (5.474 barragens identificadas) apenas 28% apresentam o Plano de Segurança de Barragens (PSB). No relatório ainda é informado que a grande maioria das barragens que apresentam o PSB são dos setores de geração de energia e rejeitos de mineração, sendo que as barragens de usos múltiplos praticamente não apresentam PSB, que mostra a necessidade de políticas e ações específicas para este setor (ANA, 2021).

Considerando as barragens de acúmulo de água como as que possuem os usos de recreação, regularização de vazões, irrigação, dessedentação animal e abastecimento humano, obtém-se o total de 68%. Sendo assim, a grande maioria das barragens não possuem o documento mais importante para a segurança da estrutura. Ainda, no RSB de 2020 foram apresentados 44 acidentes com barragens, destas 40 foram com barragens de acumulação de água, ou seja, a imensa maioria (ANA, 2020). Já no ano de

2021 foram registrados 13 acidentes, 12 com barragens de acúmulo de água (ANA, 2021).

Fica claro nessa pesquisa que existe pouquíssima disponibilidade de dados, e que a situação da condição de segurança das barragens pode ser ainda mais crítica do que aqui apresentado, uma vez que mais da metade das barragens cadastradas não apresentam informações suficientes para a correta avaliação. As barragens de água ainda enfrentam a problemática de ser difícil de se identificar o proprietário, além disso, muitas vezes o proprietário é a prefeitura municipal ou um órgão governamental. Com isso, os custos de manutenção e operação são vinculados ao governo brasileiro, o que torna mais difícil conseguir recursos para o gerenciamento da segurança da barragem.

Este cenário infelizmente é comum de se verificar, como exemplo no ano de 2021 o portal G1 publicou uma notícia sobre a situação de emergência com uma barragem para captação de água cidade de Paraisópolis no sul de Minas Gerais (G1, 2021). Segundo esta referência a barragem Brejo Grande foi construída na década de 70, na serra da Mantiqueira, e suas instalações ocupam 12 hectares. No ano de 2018 um laudo técnico já identificou surgências e trincas no maciço, apontando para um possível rompimento e a necessidade de obras de reforço. Mas somente em 2021 quando a barragem foi considerada como nível 3 de emergência, a prefeitura da cidade iniciou a tentativa de rebaixar o nível do reservatório, remover a população do vale a jusante, e iniciar treinamentos de evacuação no caso do rompimento (G1, 2021).

Um relatório técnico para as adequações da barragem Brejo Grande (Figura 3-11) elaborado pela VTB (2020) cita que a estrutura tem como proprietário a Prefeitura Municipal de Paraisópolis, que não existem informações sobre as técnicas construtivas utilizadas e que a provável construtora foi a própria prefeitura.

Esta barragem possui 16 m de altura, crista com 156 m de comprimento um volume estimado e 953.482 m<sup>3</sup> e não possui nenhuma informação sobre o material de sua fundação e nenhuma instrumentação geotécnica, apenas régua milimétrica. Sobre as características do maciço, uma investigação geotécnica indicou a composição do material como areia e argila siltosa, muito susceptível a percolação, sem núcleo impermeabilizante (VTB, 2020).

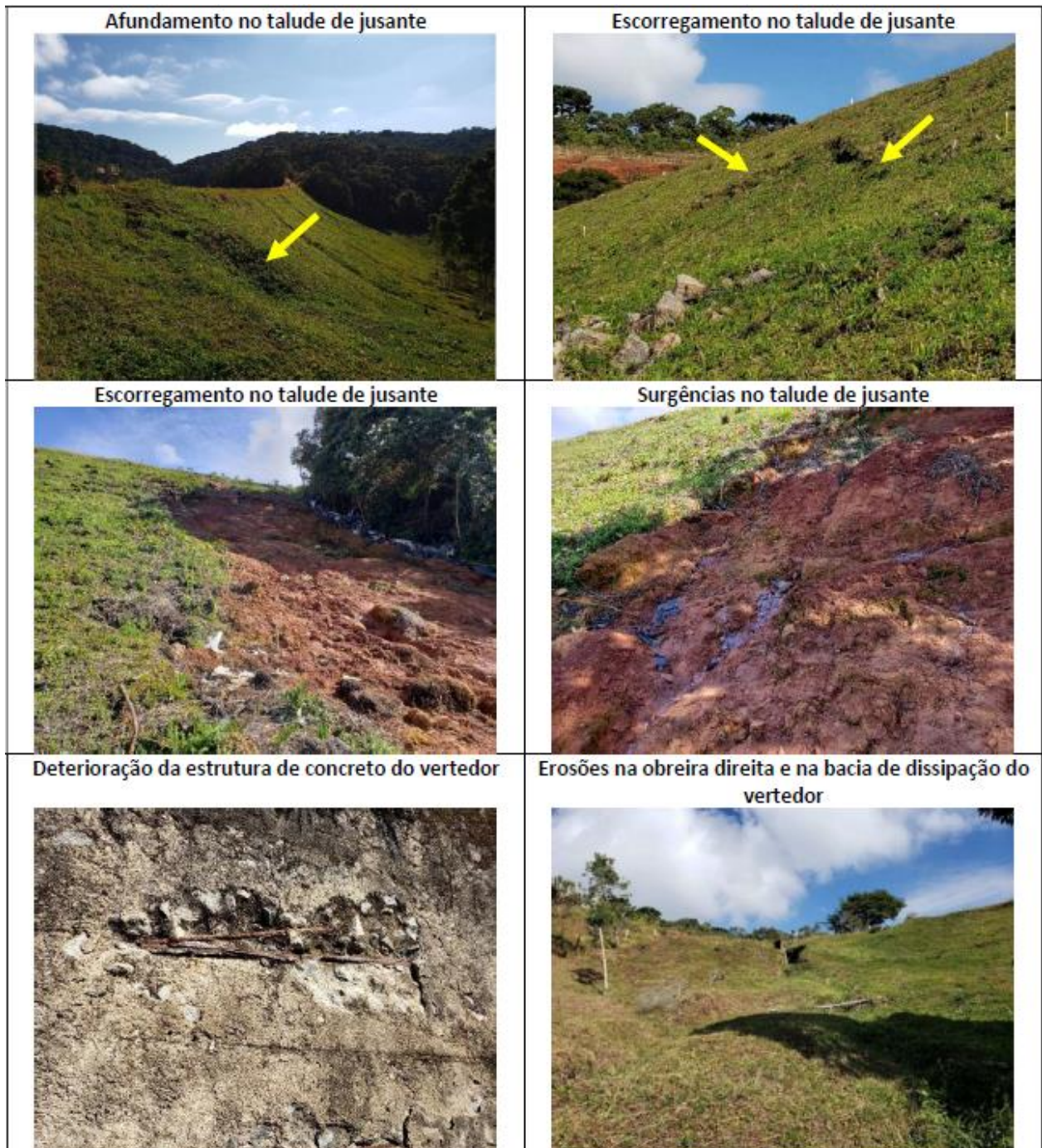
Ainda na inspeção realizada pela própria VTB (2020) foi identificado erosões superficiais, escorregamento do talude de jusante, surgências, afundamentos e abatimento da crista, conforme mostra Figura 3-12.

Figura 3-11 : Visão Geral da barragem Brejo Grande - Paraisópolis MG



Fonte: VTB, 2020.

Figura 3-12 : Patologias identificadas na Barragem Brejo Grande.



Fonte: VTB, 2020.

Esta situação exposta acima infelizmente é comum para as barragens de acúmulo de água no Brasil, dessa forma, conforme a ANA (2020), neste último ano foi observado



um maior movimento dos órgãos fiscalizadores das barragens de acumulação de água, através da verificação da publicação de portarias e resoluções que buscam obrigar os empreendedores de tais tipos de barragens a se movimentarem no sentido de atender à PNSB.

Dessa forma, com esse movimento, os empreendedores que possuem barragens de acumulação de água irão necessitar cada vez mais de suporte técnico especializado, inicialmente nas etapas de cadastramento das estruturas, depois nas etapas de atendimento à PNSB, que envolve a elaboração de uma série de estudos, e por fim no acompanhamento da performance da estrutura, onde se encaixa perfeitamente a aplicação de um engenheiro de registro. Como atualmente a aplicação desse profissional está voltada para as barragens de mineração, a seguir será proposto uma metodologia para incorporar esse conhecimento no setor das barragens de acúmulo de água.

## 4 METODOLOGIA

Esta pesquisa baseou-se no levantamento bibliográfico das principais legislações brasileiras, nos padrões internacionais sobre segurança de barragens, e na situação das barragens de acúmulo de água no nosso País. Dessa forma foi verificado o que os principais órgãos fiscalizadores brasileiros publicaram resoluções e portarias voltadas ao tema, no intuito de obrigar os empreendedores a atender a PNSB.

Neste movimento, verificou-se que a ANM foi a agência que publicou a norma mais recente. Devido a toda a complexidade das barragens de mineração e os acidentes ocorridos nos últimos anos, também foi a agência que publicou a norma mais completa e que caminha junto aos principais padrões de segurança de barragens internacionais. Tendo como base a Resolução ANM nº 95, verificou-se a obrigação de manter um EdR responsável para barragens de mineração classificadas com DPA alto. Visto que o setor de mineração reconheceu os benefícios da aplicação deste profissional, que contribui muito para buscar a melhoria contínua da segurança das barragens.

No Brasil, atualmente, quem mais produziu um conhecimento técnico aplicado do EdR foi a mineradora VALE, dessa forma, pesquisou-se sua organização da gestão de segurança de barragens, observou-se toda mudança da estrutura, e a aplicação dos novos conceitos (pós acidentes de Fundão e Brumadinho), vendo que estes englobam o EdR em toda cadeia de segurança, em todos os ciclos de vida barragem, da mesma maneira que recomendam os órgãos internacionais referência em segurança de barragens (MAC e CDA).

Fazendo uma análise da situação apresentada no último RSB publicado pela ANA em 2020, verificou-se que as barragens que estão em pior situação do ponto de vista de segurança são as barragens de acúmulo de água. A grande maioria não atende a PNSB, não possui o PSB e diversas documentações e estudos que sustentam a segurança da estrutura. O reflexo dessa falta de gestão da segurança pode ser visto nos acidentes publicados no RSB, dos 44 registrados, 40 foram com barragens onde os fiscalizadores são órgãos de gestão de recursos hídricos em 2020, e 12 de 13 acidentes em 2021, indicando que os acidentes ocorreram com barragens de acúmulo de água.

Dessa forma identificou-se dois pontos chave, a problemática da segurança das barragens de acumulo de água no Brasil, e o tema recente da aplicação do engenheiro de registro nas barragens de mineração. Como a ANM e todo o setor de mineração reconheceram que aplicação deste profissional se faz necessário para suas barragens de alto risco, buscou-se transbordar esse conhecimento de maneira positiva para o setor que hoje se encontra em situação mais precária de segurança de suas barragens.

Sendo assim, a seguir será proposto um plano de trabalho para o engenheiro de registro, adaptando sua função para ser aplicado no contexto das barragens de acumulação de água. Tal plano foi elaborado com base nas principais referências de segurança de barragens nacionais e internacionais. Como atualmente as barragens em questão ainda não atendem a PNSB, foi separado uma estratégia para o EdR trabalhar no intuito de guiar o empreendedor ao atendimento da legislação brasileira, e posteriormente, realizar o acompanhamento da performance da estrutura na busca da melhoria contínua de sua segurança.

Para elaboração do plano de trabalho do EdR para as barragens de acumulo de água, verificou-se o conteúdo mínimo proposto pelo PSB e dessa forma foram definidas as ações que o EdR deve tomar além de mostrar onde e como ele pode contribuir para direcionar o empreendedor ao atendimento a PNSB. Tais ações foram propostas com base nos guias de boas práticas e também na observação da aplicação do EdR no ramo da mineração.

Para as barragens que possuem o PSB, foi proposta a metodologia de trabalho do EdR que se baseia na elaboração de relatórios de acompanhamento de performance de segurança da estrutura. Além disso, de maneira geral, foi proposta a aplicação do gerenciamento da segurança da estrutura conforme indicam os guias de boas práticas internacionais de segurança de barragens de mineração, que visa adequar os papéis de responsabilidade estabelecendo uma cadeia bem definida dos responsáveis pela segurança da estrutura.

Por fim, uma avaliação de aplicação deste profissional foi verificada, propondo a seguinte maneira dos empreendedores arcarem com os custos de todo um time de EdR para realizar o acompanhamento de performance da estrutura: Foi calculado uma taxa por litro e por habitante que seria necessário ser cobrada dos usuários de água de uma

cidade do interior de Minas Gerais, e foi proposto que essa taxa fosse incluída na conta de água da população para que a barragem buscasse o atendimento de padrões internacionais de segurança.

Essa taxa foi calculada somando-se todos os gastos estimados para manter a equipe de EdR como hora de trabalho dos profissionais e custo com hospedagem e alimentação (nos dias da inspeção técnica de segurança), e este total foi dividido por litro por habitante. Dessa forma, cada habitante paga um valor por litro de água consumida, visando custear a equipe de EdR.

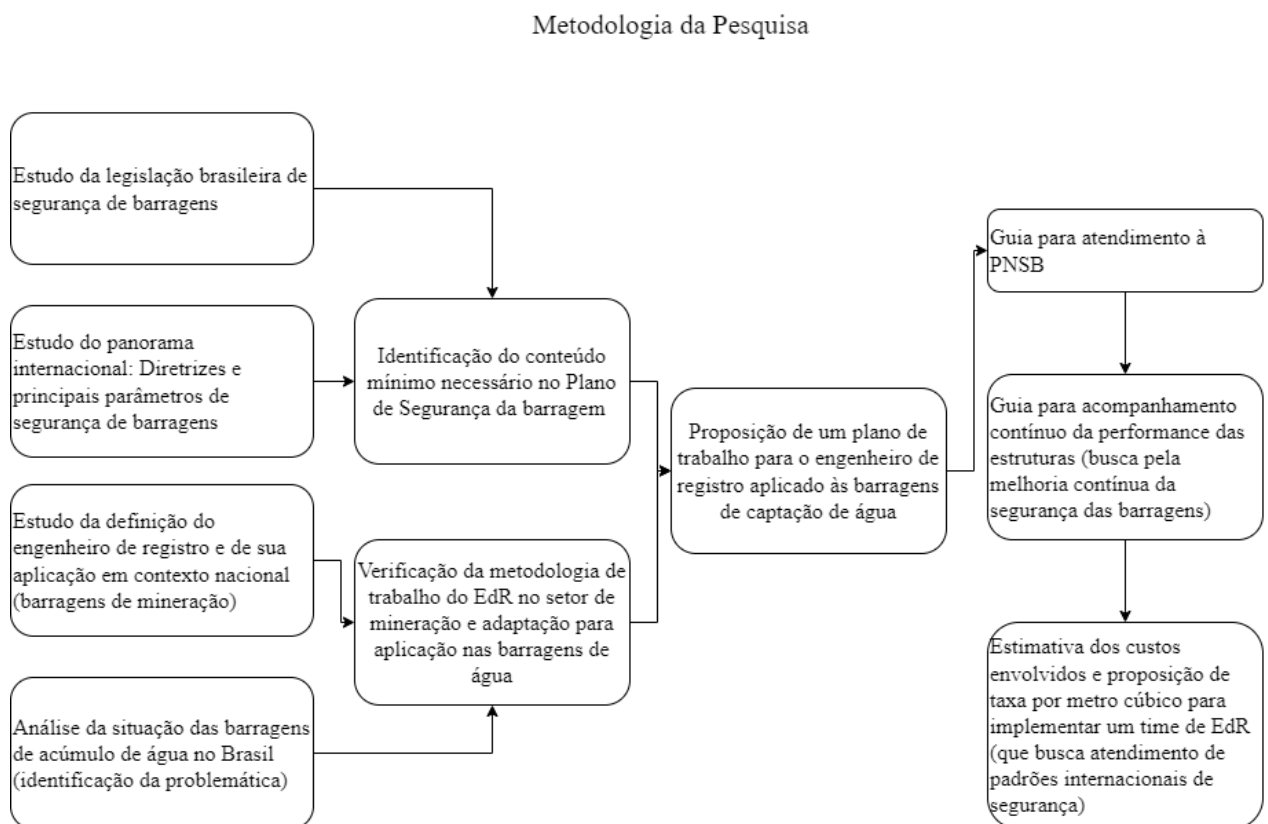
Em suma, para a elaboração do plano de trabalho do EdR no caso das barragens que não possuem o PSB, o autor buscou todo conteúdo mínimo deste documento e detalhou como o EdR pode contribuir em sua construção baseado na sua experiência como Engenheiro de Registro nas barragens de mineração, adaptando para o contexto das barragens de água.

Para as barragens que já possuem o PSB, o autor buscou elaborar o plano de trabalho do EdR conforme sua experiência com as barragens de mineração, aplicando todos os conceitos apresentados no item de referências bibliográficas, que são os principais guias de boas práticas internacionais, detalhando como devem ser realizadas as atividades do EdR e adaptando para o contexto das barragens de água.

Toda sequência da pesquisa que foi apresentada até o momento, pode ser verificada na

Figura 4-1.

Figura 4-1 – Fluxograma Metodologia aplicada na pesquisa



Fonte: Próprio autor

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes de se propor o plano de trabalho do EdR em si, se faz necessário deixar claro os requisitos mínimos indicados pela legislação nacional e as recomendações internacionais, para que o objetivo de se buscar a melhoria contínua da barragem seja atingido. Dessa forma, é recomendado que o EdR (e sua equipe composta de hidrólogos, geólogos e geotécnicos) que vai trabalhar com as barragens de captação de água possua, no mínimo, os requisitos exigidos pela Resolução nº 95 da ANM, e os requisitos estabelecidos pela CDA (2019), sendo estes:

1. Padrão aplicável a toda equipe do EdR segundo ANM (2022):

- Deve possuir doutorado, mestrado ou especialização em engenharia de barragens, ou geotecnia, ou segurança de barragens ou equivalente, que seja legalmente reconhecida pelo MEC; ou
- Possuir doutorado, mestrado ou especialização em hidrologia/hidráulica ou equivalente, legalmente reconhecida pelo MEC; e
- Ser membro de organização profissional reconhecida que possua código de ética devendo seguir tal Código de Ética deste Conselho;
- Ter experiência em projetos, planos, estudos, manuais de dimensionamento, segurança, implantação, operação de barragens, monitoramento ou manutenção e;
- Ter experiência técnica refinada de manuais e normas nacionais e internacionais utilizados sobre "Inspeção de Barragens" e "Avaliação da Segurança de Barragens".

2. Padrão aplicável ao EdR em si segundo a CDA (2019):

- Possuir conhecimento e experiência proporcionais à complexidade e às possíveis consequências de uma ruptura da barragem;
- Possuir no mínimo 10 anos de experiência em engenharia de barragens, principalmente em construção e operação;

Ainda, é importante ressaltar que o EdR deve estar devidamente credenciado no órgão fiscalizador da barragem que este profissional irá atuar (quando exigido), pois um dos objetivos do EdR é a elaboração de documentos como o RISR e a Declaração de Estabilidade (DCE). Para tal, alguns órgãos fiscalizadores já implementaram seus sistemas de gerenciamento de informações relacionadas à segurança de barragens. Por exemplo, a Feam (Fundação Estadual do Meio Ambiente) só recebe tais tipos de documentos de auditores credenciados em seu sistema (SIGIBAR), conforme publicado em sua portaria Feam nº 678/2021. O credenciamento é uma tendência que será implementada por mais órgãos fiscalizadores, portanto é fundamental que o EdR estude a necessidade de realizar esta atividade para cada caso de atuação.

A partir do atendimento dos requisitos mínimos e do credenciamento do EdR (quando exigido), verifica-se a possibilidade de trabalho em duas etapas, sendo que a segunda etapa se aplica a todas as barragens. Inicialmente, caso a barragem não atenda a PNSB, o EdR deverá direcionar o empreendedor a realizar as ações necessárias para atender a legislação. Em seguida, com a barragem devidamente legalizada, o EdR pode trabalhar na busca da melhoria contínua da segurança da estrutura. A seguir são apresentados os planos para execução destas etapas.

## 5.1 BARRAGENS QUE AINDA NÃO ATENDEM A PNSB

No caso das barragens que ainda não possui documentação técnica suficiente para o atendimento da PNSB, e das legislações locais, o EdR deve iniciar o trabalho com sua equipe através da solicitação de todas as informações existentes e uma visita técnica de campo nas instalações. A visita tem dois principais objetivos:

- Alinhamento com a equipe do empreendedor que será o contato do time de EdR, fornecendo suporte para realização de todas as demandas relacionadas a segurança de barragens que o EdR irá atuar. É de extrema importância que o EdR faça um banco de dados estruturado com todas as informações fornecidas pelo empreendedor. Alinhamento da cultura de trabalho, estabelecendo o EdR como um consultor externo, que realiza análises independentes, porém com o objetivo

comum ao empreendedor, que é o atendimento das legislações e melhoria contínua da segurança da barragem;

- Conhecer as instalações, verificar em campo a atual condição da segurança da estrutura e tomar conhecimento das principais características das barragens como: material de construção, instrumentação (quando existir), cotas notáveis (elevação da crista, da soleira do sistema extravasor), dimensão da estrutura, largura do canal de vertimento, condições de acesso, estado de conservação do maciço, das ombreiras, do sistema extravasor, da drenagem superficial, dos componentes hidromecânicos e demais informações gerais. Estas verificações são importantes para identificar inconsistências em projetos, ou para posterior acompanhamento da elaboração de projetos.

Uma importante ação a ser tomada, é a definição dos papéis chave na gestão da segurança da barragem, e a elaboração da matriz RACI, que define de forma clara e objetiva as responsabilidades de cada um dos integrantes. Sendo assim é recomendado que a matriz seja elaborada conforme Apêndice B do “*Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams*” publicado pela CDA (2019) adaptando-se para a fase do ciclo de vida que se encontra a barragem, e a realidade do empreendedor em questão.

Com a definição dos papéis bem clara, e o alinhamento entre as equipes, o time de EdR deve guiar o empreendedor no sentido de atender a PNSB e a legislação local. Para tal, este deve se apoiar no direcionamento dado pelo Plano de Segurança de Barragens (PSB) exigido pelo órgão fiscalizador do barramento em questão. Como todos os órgãos fiscalizadores devem no mínimo solicitar um PSB, conforme os requisitos exigidos pela PNSB, irá se utilizar este documento como guia básico para o plano de trabalho do EdR nesta pesquisa. Porém ressalta-se que o time de EdR deve estudar a legislação local e verificar as exigências de cada PSB conforme os diferentes órgãos fiscalizadores.

Dessa forma, é recomendado que o EdR forneça suporte para o empreendedor na elaboração do PSB (ou da empresa contratada pelo empreendedor para elaboração do PSB) conforme detalhamento a seguir (separado por volumes como apresenta o Anexo II da PNSB e mostrados na Tabela 3-5):



- **Volume I: Informações gerais**

1. **Identificação do empreendedor:** esta atividade depende apenas da disponibilização das informações do empreendedor como CNPJ, endereço e afins;
2. **Caracterização do empreendimento:** neste ponto é importante que o time de EdR contribua com sua experiência para que sejam expostas as informações notáveis e indispensáveis para caracterização do empreendimento;
3. **Características técnicas do Projeto e da Construção:** Caso exista material relacionado ao projeto e à construção da barragem, é ideal que o time de EdR faça uma avaliação dos documentos e dê suporte na elaboração deste item, contribuindo com sua experiência para que seja exposto de forma clara as principais características do projeto e da construção, como método construtivo e afins. O time de EdR irá fazer a verificação da compatibilização das informações disponibilizadas no projeto e as descritas neste item;
4. **Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes:** como o time de EdR deve possuir conhecimento profundo da estrutura e de suas instalações, neste item, a equipe deve contribuir com sua experiência ajudando a definir os acessos e as áreas a serem resguardados (junto ao empreendedor). O EdR deve orientar/realizar estudos que ajudem a identificar áreas ocupadas pela formação do lago do reservatório nas condições extremas, manchas de inundação e afins;
5. **Estrutura organizacional, contatos dos responsáveis e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança de barragens:** esta é uma tarefa a ser executada pelo empreendedor, mas que é de extrema importância para o conhecimento do EdR, conforme já apresentado no item 5;
6. **Quando for o caso, indicação da entidade responsável pela regra operacional do reservatório:** quando aplicável, o EdR deve analisar as regras operacionais do reservatório, para conhecer os procedimentos de segurança, as cotas notáveis, sendo assim o time deve ter um conhecimento completo dessa documentação. Caso as regras operacionais não estejam bem definidas cabe o EdR direcionar e dar suporte ao empreendedor na correta elaboração do

documento. Este deve possuir identificação das bacias hidrográficas que envolvem o empreendimento, nomeação e descrição do sistema extravasor, detalhes de operação das estruturas que compõe o sistema extravasor (circuitos hidráulicos, fontes de energia para manobras) e vazões extremas suportadas (ANA, 2016);

**7. Classificação da barragem quanto à Categoria de Risco e ao Dano Potencial**

**Associado:** este é o ponto crucial do volume I do PSB, pois conforme foi apresentado no item 3.1 todas as obrigações do empreendedor em relação a sua estrutura dependem de sua classificação. Dessa forma, o EdR deve ser consultado e dar suporte na elaboração destas duas classificações, baseado em uma inspeção técnica de segurança realizada pela sua equipe, e na análise de todas as informações disponíveis. É interessante que o time de EdR faça uma classificação independente, com base nas suas análises, para então contribuir com o empreendedor ou a empresa contratada para elaboração do PSB;

• **Volume II: Documentação Técnica do empreendimento**

- 1. Para barragens construídas antes de 21/09/2010: Projetos em nível básico e/ou executivo. Na inexistência destes projetos, estudos simplificados no que se refere a caracterização geotécnica do maciço, fundações e estruturas associadas, levantamento geométrico (topografia) e estudo hidrológico/hidráulico das estruturas de descarga:** aqui é encontrado outro ponto crucial do escopo de trabalho do EdR no suporte ao empreendedor. Muitas vezes a barragem não possui os projetos básicos ou executivos, ou até mesmo os possui mas de forma parcial, ou com qualidade questionável. Sendo assim, o EdR deve fazer a avaliação do material disponível, e verificando a necessidade da elaboração de outros estudos como projeto de *As Is*, o time de EdR deve participar da elaboração destes estudos, se possível liderando-os. Como o time de EdR irá utilizar diretamente as informações que irão ser produzidas nestes estudos para análise de estabilidade geotécnica e estabilidade hidráulica, ninguém melhor para avaliar a qualidade da informação durante a elaboração destes estudos. O EdR deve acompanhar o desenvolvimento da elaboração do projeto de *As Is* e fazer

revisões parciais, principalmente quanto a construção das seções geológicas geotécnicas, os estudos hidrológicos, e os desenhos do maciço e das estruturas extravasoras. Sendo assim, a versão final dos documentos como *As Is* e estudos semelhantes, deve possuir o de acordo do EdR. Com essa contribuição do time de especialistas do EdR a documentação base para análise da segurança da barragem terá garantia de qualidade e veracidade das informações.

2. **Para barragens construídas após 21/09/2010: projeto como construído (*As Built*):** As mesmas considerações do item anterior se aplicam neste item, uma vez que é um produto chave para análise da segurança da barragem;
3. **Manuais dos equipamentos:** deve constar no banco de dados que o EdR deve montar. Dessa forma a empresa que for elaborar o PSB pode consultar sua equipe para adquirir esta informação;
4. **Licenças ambientais, outorgas e demais requerimentos legais:** deve constar no banco de dados que o EdR deve montar. Dessa forma a empresa que for elaborar o PSB pode consultar sua equipe para adquirir tais documentos. Ainda, estas informações são muito importantes para o EdR entender melhor as demandas da estrutura, e na tarefa de dar suporte ao empreendedor quando questionado pelos órgãos fiscalizadores.

- **Volume III: Planos e procedimentos**

1. **Regra operacional dos dispositivos de descarga;**
2. **Planejamento das manutenções:** estes dois itens devem fazer parte do banco de dados do EdR, a equipe deve realizar uma análise de tais informações, contribuindo com sua expertise sobre o tema. Caso estes planos e regras não existam, o time de EdR deve ser consultado, e fazer parte da equipe de elaboração fazendo avaliação dos materiais de forma parcial, e os documentos finais devem possuir o de acordo do EdR;
3. **Plano de monitoramento e instrumentação:** este plano é outro ponto chave do escopo de trabalho do EdR, uma vez que sua equipe irá se basear nos dados de instrumentação para elaborar as análises de estabilidade da barragem, definição do nível da freática nas estruturas de aterro compactado, acompanhamento dos

dados de chuva, nível de reservatório e demais parâmetros que influenciam diretamente na segurança da estrutura. Muitas barragens de acúmulo de água não possuem ainda instrumentação, dessa forma o EdR deve liderar a equipe que irá produzir este plano, orientando em relação a quais instrumentos deverão ser instalados (para medição de variáveis geotécnicas e hidrológicas), a posição destes instrumentos e a frequência de obtenção de dados. Neste quesito o empreendedor depende da experiência do time de EdR, por isso a importância dos requisitos mínimos citados no item 5;

- 4. Planejamento das inspeções de segurança da barragem:** como parte do escopo de trabalho do EdR está a avaliação contínua da performance da barragem. Para realizar esta tarefa, o time de EdR deve executar rotineiramente inspeções técnicas de segurança (por exemplo, em barragens de mineração as inspeções são realizadas mensalmente pelo time de EdR). Sendo assim, o time deve ser consultado para elaboração do planejamento das inspeções, em relação aos locais a serem inspecionados e a frequência. Um bom guia utilizado para verificar os locais a serem inspecionados são os quadros de Estado de Conservação apresentados nas resoluções e portarias de cada órgão fiscalizador. É recomendado de forma geral, que sejam inspecionados a situação dos acessos à barragem, do maciço e das ombreiras (procurando por trincas, recalques, surgências e erosões superficiais), da condição da drenagem superficial, do revestimento dos taludes, da presença de animais e arbustos, da drenagem interna, do reservatório (verificando processos de erosão, instabilização, e borda livre), do sistema extravasor (procurando por obstruções e danos na estrutura), condição da instrumentação e dos componentes hidromecânicos. Uma ficha deve ser elaborada pelo time de EdR para que seja preenchida no momento da inspeção, constando todos estes itens. No fim da inspeção deve-se preencher o quadro de Estado de Conservação aplicável a barragem em questão, e deve ser realizado um relatório contendo estas principais informações para registro. Quanto a frequência da inspeção deve ser definida em conjunto com a equipe do empreendedor, baseada na classificação da barragem quanto CRI e DPA e na expertise do time de EdR. As barragens com pior condição de segurança, com

DPA alto, altos valores de Estado de Conservação, e com recomendações críticas, podem ser inspecionados com mais frequência, a exemplo das barragens de mineração, de forma mensal. Já as de baixo risco, podem ser inspecionados de forma trimestral ou semestral.

5. **Cronograma de testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos:** esta informação deve estar disponível no banco de dados do EdR, e sua equipe deve conhecer estes procedimentos e a frequência de ocorrência, para interpretar possíveis alterações na instrumentação da barragem, dar suporte ao empreendedor em possíveis questionamentos dos órgãos fiscalizadores e a avaliação do material, buscando pontos que possam ser adequados. Quando não existir esta documentação a equipe de EdR deve ser consultada para suporte na elaboração.

- **Volume IV Registros e controles**

1. **Registros de operação;**
2. **Registro de manutenção:** deve constar no banco de dados que o EdR deve montar. Dessa forma a empresa que for elaborar o PSB pode consultar sua equipe para adquirir esta informação. Ainda, tais registros são muito importantes para o EdR entender melhor o comportamento da estrutura;
3. **Registro de monitoramento e instrumentação:** caso o empreendedor não possua, é de extrema importância que o time de EdR oriente na elaboração deste documento, e da metodologia de monitoramento, já que esta informação é essencial para um dos principais trabalhos do EdR, a avaliação contínua da performance da estrutura;
4. **Registro dos testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos:** deve constar no banco de dados que o EdR deve montar. Dessa forma a empresa que for elaborar o PSB pode consultar sua equipe para adquirir esta informação. Ainda, tais registros são muito importantes para o EdR entender melhor o comportamento da estrutura;
5. **Relatório de Inspeção de Segurança de barragens:** como verificado no item 3.1, este documento é proposto por cada órgão fiscalizador quanto aos requisitos

mínimos e frequência de elaboração, é um documento extremamente complexo e extenso. Sua elaboração é feita com base na análise de estabilidade geotécnica, estrutural e hidrológica/hidráulica da estrutura. Portanto, é recomendado que seja produzido pela equipe de EdR, uma vez que esta possui o conhecimento completo da estrutura, todas as informações necessárias, e já realiza o acompanhamento contínuo da performance do barramento. Esta é uma grande vantagem de possuir um EdR, e uma das ações que leva para melhoria contínua, uma vez que como resultado deste relatório são propostas recomendação para adequação de qualquer situação que possa comprometer a segurança. Após a elaboração do relatório de inspeção de segurança, o EdR segue orientando e acompanhando de perto a execução ou não das recomendações propostas, registrando todas as ações. Ainda, deste documento sai a declaração de estabilidade da barragem, que é recomendada que seja elaborada pelo EdR, já que este é o especialista que possui maior conhecimento de todas informações citadas até o momento;

- **Volume V: Revisão periódica de segurança da barragem**

Como verificado no item 3.1, este documento é proposto por cada órgão fiscalizador quanto aos requisitos mínimos e frequência de elaboração, é um documento extremamente complexo e extenso. Tal documento tem por objetivo realizar toda a revisão tecnológica do empreendimento, avaliar todos os estudos desenvolvidos, aplicar atualizações em todos os âmbitos. Dessa forma, da mesma maneira que a Resolução nº 95 da ANM, a CDA e a MAC, recomenda-se que outra equipe realize tal estudo. O time de EdR deve servir como suporte, fornecendo todos os documentos atualizados que sejam necessários para a revisão, como topografia, dados de instrumentação, e todas informações que compõem seu banco de dados, mas deve deixar que outra equipe faça a revisão periódica de forma independente. Assim, quando EdR ter acesso a revisão periódica, discussões produtivas serão geradas em prol da melhoria contínua da segurança da barragem. É muito importante que o EdR faça a integração das equipes do empreendedor e da empresa contratada, que serão envolvidas neste estudo.

- **Volume VI: Plano de ação de emergência**

Da mesma maneira, o plano de ação de emergência possui seu requisito mínimo proposto pelos órgãos fiscalizadores específicos de cada tipo de barragem, também são documentos complexos e extensos. Usualmente a contribuição do EdR neste estudo é o fornecimento das informações necessárias que constam em seu banco de dados, e com a contribuição de sua experiência adquirida de projetos anteriores similares. Ainda assim, é importante que este seja envolvido na elaboração do documento para promover a integração das equipes, e verificar se as informações utilizadas são as mais recentes possíveis.

É nítido nesta primeira proposição de trabalho da equipe de EdR o seu protagonismo na liderança dos estudos, orientação e suporte ao empreendedor e à todas as equipes que envolvem o sistema de gestão de segurança de barragens. Também se ressalta que o seu foco deve ser nas principais ações que contribuem para a melhoria contínua da segurança, sendo estas:

- Formação de um banco de dados estruturado contendo todas informações disponibilizadas pelo empreendedor, e que são solicitadas no PSB, ou necessárias para estudos e projetos que incorporam o PSB. Tais informações podem ser constantemente atualizadas e cabe ao time de EdR fazer o registro e controle destes documentos;
- Ser o centralizador das informações e documentos que envolvam a segurança da barragem;
- Revisar todos os estudos que envolvem a segurança da barragem, contribuir com sua experiência, orientar no sentido de buscar melhorias e verificar a compatibilização das informações utilizadas para elaboração dos estudos;
- Garantir que todos os estudos e projetos relacionados à segurança da barragem estejam de acordo com os princípios da gestão de segurança do empreendedor;
- Realizar a integração das equipes que compõem a gestão de segurança do empreendedor e de projeto, e das equipes contratadas para realização dos mais diversos projetos e estudos;
- Verificar se a barragem está performando conforme as intenções da gestão de segurança do empreendedor e de projeto;

- Alertar o empreendedor quanto a qualquer divergência crítica que implica diretamente na segurança da barragem para auxílio na tomada de decisão.

## 5.2 BARRAGENS QUE ATENDEM A PNSB: BUSCA PELA MELHORIA CONTÍNUA DA SEGURANÇA

Caso a barragem já possua documentação necessária para o atendimento a PNSB, além de guiar o empreendedor no intuito de atender a legislação, agora o time de EdR irá trabalhar no intuito de buscar a melhoria contínua da segurança da estrutura.

Caso o time de EdR não tenha participado do processo de elaboração do PSB, e toda metodologia de trabalho ainda não tenha sido definida, é necessário aplicar os conceitos apresentados no início do item 5.1, que mostram a importância do alinhamento com a equipe do empreendedor, conhecimento inicial da estrutura, criação da matriz RACI, início da formação do banco de dados das informações de segurança da barragem e o credenciamento (quando aplicável) do EdR.

Com estes conceitos bem definidos, o time de EdR deve iniciar os trabalhos, realizando um banco de dados estruturado e completo, contendo as seguintes informações (mas não se limitando a estas):

- Levantamento topográfico;
- Histórico de levantamentos batimétricos;
- Cadastro topográfico do maciço;
- Cadastro topográfico das estruturas extravasoras;
- Ensaios geológicos/geotécnicos;
- Seções geológicas/geotécnicas;
- Caracterização dos materiais construtivos do maciço;
- Registro completo de todos os dados de instrumentação disponíveis;
- Séries de estudos hidrológicos e monitoramentos hidráulicos;
- Projeto de *As Is*;
- Projeto de *As Built*;
- Projeto de *Dam Break*;
- Todos os projetos e estudos que compõem o PSB;



- Todos os planos que compõem o PSB;
- E todas as informações que envolvam o registro histórico da segurança da barragem.

A equipe de EdR deve estudar minuciosamente todas estas informações, e buscar o entendimento completo da estrutura. Caso seja verificado alguma inconsistência o EdR deve procurar a equipe do empreendedor para esclarecer possíveis dúvidas, e caso seja constatada a necessidade de novos estudos para adequação das informações, o EdR deve orientar o empreendedor a realizar tal ação.

Após o estudo e organização de todas estas informações citadas acima, a equipe de EdR deve iniciar seu trabalho de acompanhamento contínuo da performance da estrutura. Tal ação se inicia com a inspeção técnica de segurança, que deve ser realizada por uma equipe composta de no mínimo um hidrólogo e um geotécnico/geólogo com experiência em barragens de igual complexidade.

A inspeção de campo deve ser realizada com olhar crítico e rigoroso, obedecendo os planos de inspeção, e as fichas elaboradas pela equipe de EdR, conforme comentado no item 5.1. O roteiro de inspeção é avaliado caso a caso, mas é recomendado que a equipe busque analisar os seguintes itens (não se limitando a estes), registrando as informações em uma ficha de campo:

1. **Condição dos acessos à barragem:** é importante que sejam definidos critérios claros como “bom”, “regular”, “ruim”, para os seguintes itens.
  - a. Conservação geral;
  - b. Conservação dos taludes;
  - c. Conservação dos dispositivos de drenagem;
  - d. Conservação do revestimento do piso;
  - e. Observações específicas (campo dissertativo)
2. **Condição do maciço e das ombreiras:**
  - a. Verificação de trincas: informar local exato, dimensões de comprimento e abertura;
  - b. Verificação de recalques: informar o local exato, a observação de abatimentos, depressões;

- c. Verificação de surgências: informar local exato, e se foi observado carreamento visível dos sólidos;
- d. Identificação de erosões superficiais;
- e. Verificação da drenagem superficial (quando aplicável);
- f. Verificação da presença de arbustos e animais;
- g. Verificação da drenagem interna: se o dreno é afogado, se possui coloides na saída no dreno, se ele se apresenta assoreado, com saturação ao seu redor, se tem carreamento visível dos sólidos ou se apresenta alteração na vazão costumeira;

### **3. Reservatório:**

- a. Verificar a existência de processos de erosão ou instabilização aos arredores;
- b. Verificar as condições da borda livre;
- c. Realizar a medição da régua limnimétrica no momento da inspeção;

### **4. Extravasoares:**

- a. Verificar a condição estrutural: procurar por danos que possam comprometer a segurança;
- b. Observar se existem obstruções que diminuam a capacidade de vazão do sistema extravasor;
- c. Verificar o funcionamento e condição estrutural de todos seus componentes (canal rápido, bacia de dissipação e restituição).

### **5. Instrumentação:**

- a. Verificar se é possível acessar os instrumentos;
- b. Verificar se os instrumentos estão instalados e operando corretamente;

### **6. Componentes hidromecânicos:**

- a. Verificar se estão instalados e operando corretamente

Por fim, ainda na inspeção deve-se preencher o quadro de Estado de Conservação da estrutura, conforme proposto pelo órgão fiscalizador da barragem em questão. A inspeção de todos os pontos citados deve ser registrada através de fotos com data e hora. Quando possível a inspeção deve ser realizada com auxílio de um drone, para que

se tenha uma melhor compreensão da estrutura, e se possua imagens de ângulos que não são possíveis de se obter sem uso deste aparelho.

A ficha gerada nessa inspeção, deve ser parte de um relatório de acompanhamento de performance da estrutura, bem como as principais observações feitas durante a atividade, e um breve registro fotográfico (que contenha apenas pontos chaves para avaliação da segurança).

De posse de toda informação gerada pela inspeção de segurança, a equipe de EdR deve iniciar o relatório de avaliação de performance. Neste deve conter a análise completa da instrumentação no período de vigência do relatório, a evolução das condições hidrológicas e hidráulicas, a análise do trânsito de cheias da estrutura, a análise de estabilidade, os principais pontos observados em campo na data da inspeção, e demais análises que sejam relevantes a segurança da barragem. É muito importante que a equipe entenda que este relatório não é um RISR, e sim uma avaliação da performance no período de vigência em questão, dessa forma o relatório deve ser claro e direto, sugere-se que não ultrapasse 15 a 20 páginas.

O relatório de avaliação de performance da barragem deve ser conclusivo, e verificar a estabilidade tanto geotécnica, quanto hidrológica/hidráulica da estrutura. Ao final deste documento, deve ser elaborado o item mais importante no acompanhamento da evolução da melhoria contínua da segurança, a tabela de recomendações. Com base em todas as informações estudadas, a equipe de EdR deve propor recomendações que visem adequar qualquer situação que venha trazer riscos a segurança da barragem (quando aplicável).

É recomendado que o time de EdR utilize como base, os parâmetros de segurança apresentados no item 3.1.1, principalmente quanto a borda livre e fator de segurança da estabilidade geotécnica da estrutura. Caso essa referência não apresente algum parâmetro em específico, é recomendado que o EdR busque pelas referências internacionais apresentadas no item 3.2. Quando a barragem em questão não atingir tais parâmetros mínimos de segurança, cabe a equipe de EdR propor recomendações que venham a corrigir estas situações.

É de suma importância que o relatório de avaliação de performance, elaborado pelo EdR, seja apreciado pelos responsáveis da gestão de segurança da barragem. Estes

devem entender de forma clara os resultados do relatório, e buscar atender as recomendações propostas. O processo se inicia novamente com a próxima inspeção de campo.

Além dessa atividade, é recomendado que o EdR elabore o RISR, conforme a frequência solicitada pelo órgão fiscalizador da barragem em questão, e execute todos o trabalho de suporte que já destacado nas etapas desta pesquisa.

### 5.3 ESTIMATIVA DOS CUSTOS DA EQUIPE DE EDR E A PROPOSIÇÃO DA TARIFA POR METRO CÚBICO

No exemplo citado no item 3.5, a cidade do interior do sul de Minas Gerais possui uma população estimada pelo IBGE para 2021 de 21.353 habitantes. Tal população está exposta a um risco de rompimento de barragem de nível 3, considerado o mais crítico. Esta situação se desenvolveu uma vez que não foi aplicada uma correta gestão de segurança da estrutura.

Um acompanhamento técnico da performance da estrutura, realizado de forma contínua por uma equipe de EdR, não iria permitir que a situação atingisse tamanhas dimensões. Como verificado no item 3.5 a barragem apresentou sinais como trincas e surgência. E também foi demonstrado no item 5.2 que uma das atividades rotineiras do time de EdR é a verificação deste tipo de patologia e a definição de ações para corrigi-las.

Como uma equipe de especialistas de EdR iria atuar de forma positiva evitando que essa situação se desenvolvesse, é interessante realizar uma estimativa de custos de tais profissionais. Dessa forma, considerando que os profissionais seriam contratados como consultores independentes, e possuíssem remuneração por horas trabalhadas, com uma equipe composta por um engenheiro hídrico, um geotécnico, um geólogo e o engenheiro de registro, será apresentada tal estimativa.

A referência dos valores de horas trabalhadas dos profissionais veio de uma consulta aos seguintes órgãos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referencial de preços para obras de Minas Gerais (SETOP),

Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP) de Belo Horizonte – MG. A tabela x mostra a média adotada para cada profissional, vale ressaltar que para o engenheiro de registro foi considerado o valor do engenheiro consultor.

Tabela 5-1 – Referência de valor de horas trabalhadas

	Fonte			
	SINAP MG (06/2022)	SETOP (06/2022)	SUDECAP (06/2022)	Média
Profissional	Valor da hora	Valor da hora	Valor da hora	Valor da hora
Engenheiro Junior	R\$ 84,80	R\$ 81,09	R\$ 81,12	R\$ 82,34
Engenheiro Sênior	R\$ 131,94	R\$ 125,44	R\$ 121,30	R\$ 126,23
Engenheiro consultor	-	-	R\$ 163,19	R\$ 163,19

É importante salientar que para uma única pequena barragem de acúmulo de água, é esperado que a equipe toda gaste no máximo 80 horas no mês (20 horas de cada profissional), onde suas atividades iriam ser as propostas no item 5.2, ou seja, a inspeção de campo e a elaboração do relatório de performance. Estas 80 horas seriam para o cenário mais crítico, com a evolução da segurança da barragem a quantidade de horas trabalhadas por profissional tende a diminuir, até que a barragem atinja a estabilidade do ponto de vista da segurança. A Tabela 5-2 mostra uma estimativa de custo por metro cúbico de consumo de água para a aplicação da equipe de EdR.

Tabela 5-2 - Custos por metro cúbico de consumo de água para aplicação da equipe de EdR

Profissional	Remuneração (hora)	Remuneração 20 horas (R\$)	Custos (transporte, hospedagem, alimentação)
Engenheiro Hídrico	R\$ 82,34	R\$ 1.646,80	R\$ 1.000,00
Engenheiro Geotécnico	R\$ 82,34	R\$ 1.646,80	R\$ 1.000,00
Geólogo	R\$ 82,34	R\$ 1.646,80	R\$ 1.000,00
Engenheiro de Registro	R\$ 163,19	R\$ 3.263,80	R\$ 1.000,00
		R\$8.204,20	R\$ 4.000,00
<b>Total</b>	R\$ 12.204,20		
Habitantes	21.353		
consumo médio diário (l/hab/dia)	150		
Consumo mensal (l)	96088500		
Consumo mensal (m <sup>3</sup> )	96088,5		
Custo/m <sup>3</sup>	R\$ 0,13		

Esta estimativa inicial foi realizada dividindo os custos totais do mês para remuneração e gastos com transporte, hospedagem e alimentação (que são necessário para o deslocamento da equipe para a inspeção de segurança) pelo consumo total da cidade em metros cúbicos. Foi considerado o valor médio de 150 l/hab/dia, multiplicado pelo número total de habitantes, multiplicado por 30 dias, chegando-se ao volume de 96088500 Litros de água para a cidade toda, no período de um mês. Este volume em metros cúbicos é 96088,5, que dividido pelo custo total da equipe de EdR resulta em R\$ 0,13 por metro cúbico.

Para uma família de 4 pessoas, o consumo de água é em média 18 m<sup>3</sup>/mês. Considerando o preço médio de 3 R\$/m<sup>3</sup>, a conta de água desta família iria subir de R\$ 54 (referente ao consumo de água) para R\$ 56,34 resultando em um aumento de 4%.

Tal custo pode ser cobrado como tarifa, dessa forma cada habitante pagaria R\$ 0,13 por metro cúbico para que a barragem da sua cidade fosse monitorada por uma equipe de especialistas em segurança de barragem, com o objetivo de atender padrões internacionais de segurança.

Para municípios que possuem mais habitantes, este custo tende a cair uma vez que será dividido por mais usuários.

#### 5.4 BENEFÍCIOS PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM

De todas as informações apresentadas nesta pesquisa é possível se destacar os principais benefícios para a segurança das barragens, com a inclusão de um engenheiro de registro no monitoramento de barragens de acumulação de água sendo estas:

- **Mudança de filosofia da gestão de segurança de barragens:** o próprio processo de implantação de um engenheiro de registro na empresa já mostra uma mudança de filosofia do empreendedor em relação ao seu gerenciamento de segurança da barragem. A definição dos papéis chave, a elaboração da matriz RACI estabelecendo as responsabilidades de cada agente principal, e o papel do EdR como consultor independente que atua junto ao empreendedor para contribuir para melhoria contínua, é um novo conceito que se apresenta como tendência internacional no tema de segurança de barragens de mineração, mas que pode e deve ser espalhado para as demais barragens. Além dessa nova cultura de organização da gestão, o EdR traz consigo o hábito de trabalhar apoiado nas boas práticas de engenharia de barragens, nas recomendações internacionais e no conhecimento técnico de ponta. Dessa forma o empreendedor passa a entender tais práticas e adotá-las para trazer mais segurança para seu empreendimento, mudando toda a filosofia da gestão de segurança, em prol do atendimento dos padrões internacionais;
- **Integração entre as equipes e projetos que envolvem todo o gerenciamento da segurança da barragem:** a experiência do trabalho do EdR mostra que no

empreendedor normalmente existem diversas equipes multidisciplinares, como a equipe de operação, manutenção, projetos, gestão de segurança e afins. Dessa forma, se estas equipes não estiverem em pleno contato e ciência das atividades uma das outras, a segurança da estrutura pode ser prejudicada. O papel do EdR de centralizar todas as informações faz com que o mesmo tenha a visão macro da gestão da estrutura e permite que este coloque em sintonia todas as equipes, para que juntas estas atinjam o objetivo comum de melhoria contínua da segurança do barramento;

- **Aumento da qualidade dos estudos que envolvem a segurança das barragens:** muitas vezes o empreendedor na necessidade de atender a legislação, contrata empresas para executar os estudos necessário para elaboração do PSB, ou estudos específicos solicitados pelo órgão fiscalizador. A falta de experiência do empreendedor no tema de segurança de barragens, faz com que este não consiga interpretar se o material que está sendo produzido pelas contratadas atende a necessidade de representar de forma fidedigna a condição do barramento e todas as suas características. O EdR se mostra fundamental neste quesito, uma vez que o próprio irá utilizar estes estudos para fazer a avaliação da estabilidade da barragem, e contando com sua experiência no tema, ele contribui com a verificação, orientação e correção destes estudos ainda na fase de desenvolvimento. No final se possui estudo com qualidade confiável e o de acordo da equipe de especialista do EdR;
- **Aumento da qualidade dos planos e projetos que envolvem a segurança da barragem:** da mesma maneira que o empreendedor contrata alguns estudos específicos como citado anteriormente, ele também contrata projetos como *As Is* e *As Built*, a elaboração de planos como o de instrumentação, operação e afins. Muitas vezes o empreendedor não possui necessariamente expertise para julgar se estes planos e projetos estão sendo elaborados da forma correta, se são representativos, se de fato estão sendo elaborados conforme os objetivos de se alcançar a melhoria contínua da estrutura. Dessa forma o EdR tem papel



fundamental de realizar este trabalho de verificação e validação dos planos e projetos, o que no final gera um produto de extrema qualidade que de fato é utilizado para a análise realística da segurança da estrutura;

- **Melhoria contínua da segurança da estrutura:** com o acompanhamento frequente do time de EdR através das inspeções de segurança e a elaboração do relatório de avaliação de performance, a estrutura é monitorada de perto por um time de especialistas, o que permite a evolução significativa da segurança. Fica evidente que situações como a apresentada no item 3.5 e 5.3 (barragens que atingem nível máximo de emergência) são controladas antes de alcançar tamanhas proporções. Dessa forma, a aplicação do EdR contribui para segurança de toda a população do vale de jusante.

## 6 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa buscou-se mostrar a evolução da legislação brasileira e internacional ao decorrer do tempo, verificando-se que as leis e normas evoluem movidas por acidentes de grande impacto e perda de vidas humanas. Conforme ocorreram os acidentes relacionados a barragens no Brasil e no mundo, as principais agências se articularam para elaborar materiais cada vez mais criteriosos e rigorosos, na busca de criar diretrizes de boas práticas de engenharia de barragens, parâmetros técnicos de segurança e procedimentos que buscassem a melhoria contínua da segurança das estruturas.

No Brasil não foi diferente, e depois dos acidentes de grande impacto, perda de vidas humanas e repercussão internacional, ocorrido nas barragens de mineração, o órgão fiscalizador destas estruturas e seus proprietários iniciou uma ação pioneira de atualizar a legislação e a cultura da gestão de segurança de barragens. Tanto a ANM quanto as mineradoras, se apoiaram nas recomendações internacionais propostas principalmente pelas agências: CDA, MAC, ICOLD, USBR e ANCOLD. Como resultado desde 2020 as mineradoras, principalmente a VALE, reestruturaram toda sua mentalidade quanto a gestão da segurança, inserindo novos conceitos como o EdR.

A ANM acompanhando a evolução da segurança neste período percebeu que a aplicação do EdR nas barragens de mineração foi extremamente benéfica, e em 2022 elaborou sua nova Resolução nº 95, obrigando os empreendedores a possuírem um EdR para barragens com DPA Alto, e não se limitando a isto, a nova resolução trouxe uma série de parâmetros e considerações criados a partir de recomendações das principais organizações internacionais, porém adaptadas para o contexto brasileiro. Desta forma a Resolução nº 95 da ANM pode ser considerada como um padrão a ser seguido para a segurança das barragens de aterro compactado, uma vez que se mostra totalmente atualizada e condizente com os conceitos internacionais de boas práticas de engenharia de barragens.

Observando o RSB publicado pela ANA em 2020 foi verificado a problemática da segurança das barragens de acúmulo de água, uma vez que dos 44 acidentes registrados em 2020, 40 foram informados por órgãos fiscalizadores de recursos hídricos, já no ano de 2021 de 13 acidentes 12 foram com barragens de acúmulo de água. Sendo assim, a pesquisa buscou transbordar de forma positiva o conhecimento obtido recentemente pelas mineradoras para as barragens de captação de água.

Inicialmente se fez um levantamento das principais legislações brasileira, em seguida um levantamento das principais diretrizes e parâmetros internacionais de segurança de barragens. Foi apresentado um histórico da aplicação do EdR, sua definição em termos atuais, sua aplicação no contexto das barragens de mineração no Brasil, mostrando que a tendência é esta metodologia se expandir para os demais setores, e por fim uma avaliação rápida do cenário atual das barragens de acúmulo de água no Brasil.

A partir desta coletânea de informações, foi proposto um plano de trabalho para uma equipe de EdR adaptado para as barragens de acúmulo de água, separando em duas estratégias: na busca pelo atendimento a PNSB, e posterior a isso, na busca pela melhoria contínua da estrutura. Também foi avaliada uma estimativa de custo para aplicação de uma equipe de EdR em uma pequena barragem de captação de água no sul de Minas Gerais, mostrando um valor inicial de R\$ 0,13 por metro cúbico de água consumida, aumentando o valor do consumo de água em 4% para uma família de 4 pessoas. Estes custos tendem a diminuir caso seja considerado um município com mais

habitantes, uma vez que o custo será dividido por mais usuários. Ainda, tal custo pode ser subsidiado pelo empreendedor que muitas vezes é a prefeitura ou um órgão do governo. Uma possibilidade também é utilizar recurso do comitê da bacia hidrográfica em questão.

Por fim elencou-se os principais benefícios da aplicação do EdR se destacando: Mudança de filosofia da gestão de segurança de barragens; Integração entre as equipes e projetos que envolvem todo o gerenciamento da segurança da barragem; Aumento da qualidade dos estudos que envolvem a segurança das barragens; Aumento da qualidade dos planos e projetos que envolvem a segurança da barragem e Melhoria contínua da segurança da estrutura. Concluindo dessa forma todos os objetivos propostos para esta pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos especiais à UNIFEI, CNPq, CAPES. Também agradecem a ANEEL, CEMIG, à ELETROBRÁS FURNAS, SERRA DO FACÃO ENERGIA S.A (SEFAC), FAPEMIG e a Walm BH Engenharia pelo suporte técnico e financeiro para realização desse trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Relatório de Segurança de Barragem 2011**. 2013. Disponível em: <[RSB 2011 — Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens SNISB](#)>

ANA (Brasil). **Instruções para Apresentação do Plano de Segurança da Barragem**: manual do empreendedor sobre segurança de barragens volume i. [S. L.]: Ana, 2016. Disponível em: [https://www.snisb.gov.br/Entenda\\_Mais/instrucoes-para-apresentacao-plano-seguranca-barragens](https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/instrucoes-para-apresentacao-plano-seguranca-barragens). Acesso em: 09 jun. 2022.

ANA. **RESOLUÇÃO N°236, DE 30 DE JANEIRO DE 2017**. Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8°, 9°, 10, 11 e 12 da Lei n° 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Disponível em < <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf>>

ANA. **Relatório de Segurança de Barragem 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2020>

AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS - ANCOLD (Austrália). **Guideline on Tailing Dams**. [S. L.]: Ancold, 2012. 78 p.

AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS – **ANCOLD** (Austrália) (org.). About Us. 2012. Disponível em: [https://www.ancold.org.au/?page\\_id=17](https://www.ancold.org.au/?page_id=17). Acesso em: 09 jun. 2022.

ANM. **RESOLUÇÃO N° 95, DE 07 DE FEVEREIRO DE 2022**. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. Disponível em

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-95-de-7-de-fevereiro-de-2022-380760962>

ÁVILA, Joaquim Pimenta de et al. **SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITOS NO BRASIL: AVALIAÇÃO DOS ACIDENTES RECENTES**. In: GEOTECNIA, 152., 2021, [S.L.]. Anais . [S.L.]: Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 2021. p. 435-464.

BRASIL. Lei n.º 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. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm)

BRASIL. Lei n.º 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: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm)

CANADIAN DAM ASSOCIATION - CDA (Canadá) (org.). **Dam Safety Guidelines**. [S. L.]: CDA, 2013. 80 p.

CANADIAN DAM ASSOCIATION - CDA (Canadá). About CDA. 2022. Disponível em: <https://cda.ca/about-cda/about-us>. Acesso em: 09 jun. 2022.

CANADIAN DAM ASSOCIATION - CDA (Canadá) (org.). **Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams**. [S. L.]: CDA, 2019. 51 p.

CNRH. **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 seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Disponível em < <https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de-2012/file>>

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. . **Federal Guidelines for Dam Safety**. [S. L.]: Interagency Committee On Dam Safety, 2004. 50 p.

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. . **Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management**. [S. L]: Interagency Committee On Dam Safety, 2015. 39 p.

ESTADOS UNIDOS. ASSOCIATION OF STATE DAM SAFETY OFFICIALS. **Summary of State Laws and Regulations on Dam Safety**. Lexington: Association Of State Dam Safety Officials, 2020. 227 p.

FEAM. **PORTARIA FEAM Nº 678, DE 06 DE MAIO DE 2021**. Estabelece regras para o credenciamento de auditores para a prestação de serviços de auditoria técnica de segurança de barragens no âmbito da Política Estadual de Segurança de Barragens e dá outras providências. Disponível em <  
<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=53740>>

G1 (Brasil). **Prefeitura tenta esvaziar parte de represa para diminuir risco de rompimento de barragem em MG**. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2021/10/13/prefeitura-tenta-esvaziar-parte-de-represa-para-diminuir-risco-de-rompimento-de-barragem-em-mg.ghtml>. Acesso em: 09 jun. 2022.

GUIDICINI, Guido et al. **LIÇÕES APRENDIDAS COM ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS E OBRAS ANEXAS NO BRASIL**. Rio de Janeiro: CBDB, 2021. 203 p.

IGAM. **PORTARIA IGAM Nº 03, DE 26 DE FEVEREIRO DE 2019**. Dispõe sobre os procedimentos para o cadastro de barragens em curso d'água no Estado de Minas Gerais, em observância a Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, e convoca os usuários para o cadastramento. Disponível em <  
<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=47900>>

JESUS, Michele Bispo de. **Aspectos de gestão frente à política nacional de segurança de barragens**. 2021. 244 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Usp, São Paulo, 2021.

LEMOS, Moisés Antônio da Costa et al. Estudo sobre o Cálculo da Probabilidade de Risco por Galgamento em Barragens. **Geocentro**. Brasília, p. 1-8. out. 2019.

MINAS GERAIS. Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019. Institui a política estadual de segurança de barragens Disponível em: < <https://leisestaduais.com.br/mg/lei-ordinaria-n-23291-2019-minas-gerais-institui-a-politica-estadual-de-seguranca-de-barragens>>

MINAS GERAIS. Decreto nº 48.140, de 25 de fevereiro de 2021. Regulamenta dispositivos da Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragens, estabelece medidas para aplicação do art. 29 da Lei nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016, e dá outras providências. Disponível em: < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=410041s>>

MOTTA, Amanda de Moraes. **BARRAGENS DE REJEITOS DE MINAS GERAIS: AVALIAÇÃO DA TRAJETÓRIA LEGISLATIVA EM ASPÉCTOS TÉCNICOS E AMBIENTAIS**. 2022. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Ufmg, Belo Horizonte, 2022.

OLIVEIRA, José Carlos de. **Gestão operacional das barragens de Terra do complexo minerário das minas de ferro Carajás da Vale**. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geotécnica, Ufop, Ouro Preto, 2014.

SEMAD e FEAM. **RESOLUÇÃO CONJUNTA SEMAD/ FEAM nº 2.784, de 21 de março 2019**. Determina a descaracterização de todas as barragens de contenção de rejeitos e resíduos, alteadas pelo método a montante, provenientes de atividades minerárias, existentes em Minas Gerais e dá outras providências Disponível em: < [https://www.snisb.gov.br/Entenda\\_Mais/legislacao-aplicada/mg-resolucao-n-o-2-784\\_2019.pdf/view](https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/legislacao-aplicada/mg-resolucao-n-o-2-784_2019.pdf/view)>

TSCHIEDEL, Arthur da Fontoura et al. BARRAGENS E ROMPIMENTOS: COMPILAÇÃO HISTÓRICA NACIONAL E INTERNACIONAL. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**, 23., 2019, Foz do Iguaçu. Anais . Foz do Iguaçu: Abrhidro, 2019. p. 1-10

USSD, Tailings Dam Committee. CDA, Canadian Dam Assosiation. **INTRODUCTION TO THE ENGINEER OF RECORD**. 2020. Disponível em <https://training.ussdams.org/products/introduction-to-the-engineer-of-record-for-tailings-dams>

VALE (Brasil). **Controle e Gestão de Barragens**. 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/esg/pt/Paginas/ControleGestaoBarragens.aspx>. Acesso em: 09 jun. 2022.

VALE b (Brasil). **Desempenho de Barragens**. 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/esg/pt/Paginas/DesempenhoBarragens.aspx>. Acesso em: 09 jun. 2022.

VTB Engenharia (Brasil). **BARRAGEM BREJO GRANDE PROJETO EXECUTIVO DE ADEQUAÇÕES MEMORIAL DESCRITIVO**. 2020. [S. l]. VTB, 2020. 31 p.