



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Luiz Claudio Silva

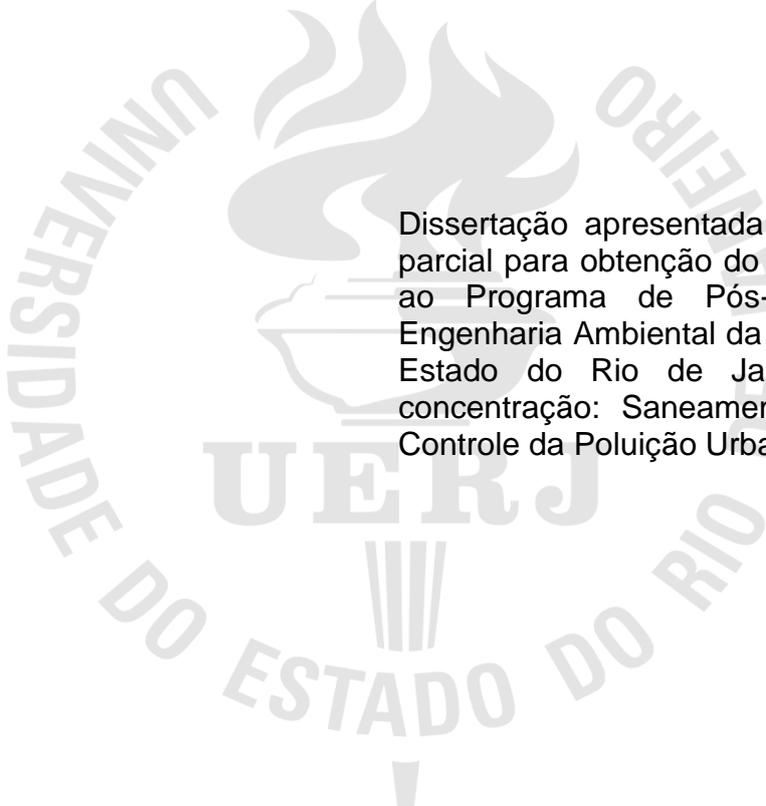
**Avaliação de risco de acidentes em barragens de contenção de
água: uma contribuição para a gestão de segurança de barragens
no Brasil**

Rio de Janeiro

2023

Luiz Claudio Silva

Avaliação de risco de acidentes em barragens de contenção de água: uma contribuição para a gestão de segurança de barragens no Brasil



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos

Coorientador: Prof. Dr. Julio Cesar da Silva

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S586 Silva, Luiz Claudio.
Avaliação de risco de acidentes em barragens de contenção de água: uma contribuição para a gestão de segurança de barragens no Brasil / Luiz Claudio Silva. – 2023.
154 f.

Orientador: Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos.

Coorientador: Julio Cesar da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Barragens e açudes - Segurança - Teses. 3. Avaliação de riscos ecológicos - Teses. I. Mattos, Ubirajara Aluizio de Oliveira. II. Silva, Julio Cesar da. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 627.82

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Luiz Claudio Silva

Avaliação de risco de acidentes em barragens de contenção de água: uma contribuição para a gestão de segurança de barragens no Brasil

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovada em 17 de agosto de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ubirajara A. O. Mattos (Orientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Julio Cesar da Silva (Coorientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Helton Luiz Santana Oliveira
Universidade Federal Fluminense – UFF

Prof. Dr. Karoline Pinheiro Frankenfeld
Faculdade de Engenharia – UERJ

Rio de Janeiro

2023

DEDICATÓRIA

*“Ter um irmão é ter, pra sempre, uma infância lembrada com
segurança em outro coração”.*

Tati Bernardi

Dedico este trabalho ao meu irmão Vagner Luiz Silva, meu primeiro e melhor amigo que fiz na vida, de quem me lembrarei com alegria e saudade por todos os meus dias.

(In memoriam)

AGRADECIMENTOS

Quando me lembro de todo o percurso para chegar até aqui, sinto uma imensa gratidão por todos que cruzaram meu caminho e me ajudaram a trilhá-lo.

À minha família, pelo incentivo e compreensão da importância desta conquista acadêmica e profissional que por vezes me fez ausente em momentos de convívio e lazer. Sem vocês, eu não estaria realizando mais este sonho.

Aos meus professores orientadores, por todo o conhecimento transmitido, pelos desafios lançados, confiança e incentivo.

Aos meus colegas de turma, que caminharam comigo nessa jornada de aprendizado e crescimento.

Aos autores de toda a bibliografia que usei neste trabalho, pois suas obras me inspiraram e expandiram minha perspectiva sobre o tema que abracei nesta dissertação.

E, por fim, mas não menos importante, aos meus queridos cachorrinhos Lineu e Mel, que nestes dois anos se aconchegavam diariamente ao lado da minha mesa de estudo, me fazendo companhia nas longas horas em que me dediquei a este trabalho.

Quer saber o sentido da vida? Pra frente.
Emicida e Criolo, música A Cada Vento, 2009.

RESUMO

SILVA, Luiz Claudio. *Avaliação de risco de acidentes em barragens de contenção de água*: uma contribuição para a gestão de segurança de barragens no Brasil. 2023. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A segurança de barragens é uma das vertentes da segurança hídrica no Brasil e diz respeito à gestão de riscos e desastres relacionados à água. A Política Nacional de Segurança de Barragens estabelecida pela Lei nº 12.334/2010, e atualizada pela Lei 14.066/2020, define segurança de barragem como "uma condição que visa manter sua integridade estrutural e operacional, bem como preservar a vida, a saúde, a propriedade e o meio ambiente". Envolve dois aspectos fundamentais: a integridade da barragem e a gestão de emergências. As barragens no Brasil são fiscalizadas por órgãos públicos, que apresentam carências de infraestrutura e efetivo técnico. As barragens têm seus riscos classificados por estes órgãos com base em critério nacional, porém, mais da metade delas carecem de informação e por isso não são conhecidas as suas categorias de riscos e seus danos potenciais associados. Somente as barragens para uso hidroelétrico estão 100% classificadas. Neste contexto, o Brasil registrou um aumento significativo no número de acidentes com barragens nos últimos quatro anos. Assim, esta dissertação objetiva avaliar a gestão da segurança relacionada aos riscos de ruptura de barragens de contenção de água no Brasil, visando contribuir com sugestões para o seu aprimoramento. Ela foi suportada por uma revisão bibliográfica com fontes nacionais e estrangeiras, e, em especial sobre as técnicas de investigação de acidentes de barragens requeridas no Brasil, foi realizada entrevista com a DC. Cristiane Battiston, Coordenadora-Geral de Gestão Integrada na Secretaria Nacional de Segurança Hídrica do Ministério do Desenvolvimento Regional. Por fim, esta dissertação sugere incorporar a técnica BowTie como uma ferramenta para a gestão cotidiana da segurança de barragens, tanto pelos órgãos fiscalizadores como pelos próprios empreendedores, em razão das suas características metodológicas, que viabilizam uma comunicação clara e organizada dos riscos e das suas proteções, facilmente entendidas por técnicos e gestores.

Palavras-chave: Segurança de barragens. Barragens de contenção de água.

Ruptura de barragens. *Bow Tie*. Legislação de barragens. Gestão de segurança.

Engenharia de resiliência.

ABSTRACT

SILVA, Luiz Claudio. *Risk evaluation of accidents in water containment dams: a contribution to dam safety management in Brazil*. 2023. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Safety dam is one of the aspects of water security in Brazil and concerns the management of risks and disasters related to water. The National Safety Dam Policy established by the Law 12.334/2010, and updated by the Law 14.066/2020, defines safety dam as "a condition that aims to maintain its structural and operational integrity, as well as to preserve life, health, property and environment". It involves two fundamental aspects: dam integrity and emergency management. Dams in Brazil are supervised by public bodies, which have a lack of infrastructure and technical staff. Dams have their risks classified by these bodies based on national criteria, however, more than half of them lack information and therefore their risk categories and their associated potential damage are not known. Only dams for hydroelectric use are 100% classified. In this context, Brazil registered a significant increase in the number of accidents with dams in the last four years. Then, this dissertation intends to evaluate the safety management related to the risks of rupture of water containment dams in Brazil, aiming to contribute with suggestions for its improvement. It was supported by a bibliographic review with national and foreign sources, and, in particular on the investigation techniques of dam accidents required in Brazil, an interview was carried out with the PhD Cristiane Battiston, General Coordinator of Integrated Management at the National Secretariat for Water Security of the Ministry of Regional Development. Finally, this dissertation suggests incorporating the Bow Tie technique as a tool for the day-to-day management of safety dam, both by inspection bodies and by the entrepreneurs themselves, due to its methodological characteristics, that enable clear and organized communication of hazards and their protections, easily understood by technicians and managers.

Keywords: Safety dam. Water containment dams. Dam rupture. Bow Tie. Dams Legislation. Safety management. Resilience engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais componentes de uma barragem convencional	29
Figura 2 – Linha de saturação de uma barragem de terra	34
Figura 3 – Princípio ALARP (<i>As Low as Reasonably Practicable</i>)	38
Figura 4 – Pilares básicos da segurança de barragens	39
Figura 5 – Localização dos acidentes com barragens no Brasil.....	44
Figura 6 – Órgãos públicos fiscalizadores de barragens no Brasil.....	51
Figura 7 – Matrizes estaduais brasileiras para classificação de barragens de retenção de água.....	72
Figura 8 – Composição da Câmara Técnica de Análise de Projetos (CTAP) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)	85
Figura 9 – Aspectos fundamentais para a segurança de barragens	87
Figura 10 – Elementos estruturantes de um sistema de gestão.....	88
Figura 11 – Gravata-borboleta	95
Figura 12 – Exemplo genérico de um diagrama Bow Tie.....	96
Figura 13 – Exemplo de aplicação do Bow Tie	99
Figura 14 – Simulação do resultado hipotético de uma inspeção de segurança de barragem de retenção de água.....	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição de barragens por tipo de material de construção	33
Gráfico 2 – Cadastro anual de barragens localizadas no Rio Grande do Sul	35
Gráfico 3 – Total de barragens não classificadas no Rio Grande do Sul	36
Gráfico 4 – Evolução do número de acidentes e incidentes de barragens no Brasil.	43
Gráfico 5 – Número de acidentes do trabalho no Brasil de 2019 a 2021 para os CNAE 3511 e 3600	45
Gráfico 6 – Indicadores de acidentes do trabalho do Brasil em 2021 para os CNAE 3511 e 3600	45
Gráfico 7 – Distribuição das barragens classificadas por Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB)	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Procedimentos metodológicos	24
Quadro 2 – Classificações de barragens	31
Quadro 3 – Diferença de abordagem entre os modelos de gestão de Remediação, Prevenção e de Atenção	39
Quadro 4 – Aplicação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).....	48
Quadro 5 – Políticas de segurança de barragens no mundo	54
Quadro 6 – Classificação das barragens brasileiras por Categoria de Risco (CRI) ..	57
Quadro 7 – Classificação das barragens brasileiras por Dano Potencial Associado (DPA)	58
Quadro 8 – Classificação em função da pontuação acumulada.....	61
Quadro 9 – Matriz de classificação das barragens.....	64
Quadro 10 – Requisitos e frequências de revisão e inspeções de segurança	65
Quadro 11 – Suscetibilidade a variações dos parâmetros para a classificação das barragens	66
Quadro 12 – Tipos de Nível de Perigo de Anomalia (NPA) e Nível de Perigo Global de uma Barragem (NPGB)	67
Quadro 13 – Níveis de Resposta (NR) no âmbito do Plano de Atendimento a Emergência (PAE).....	67
Quadro 14 – Marcos regulatórios para a classificação das barragens estaduais.....	71
Quadro 15 – Correlação dos Estados com as diferentes matrizes de classificação .	73
Quadro 16 – Resumo das classificações estaduais	73
Quadro 17 – Resumo das classificações de barragem de água no Brasil	74
Quadro 18 – Fases do licenciamento ambiental no Brasil	78
Quadro 19 – Categorias de severidade da Análise Preliminar de Perigo (APP)	80
Quadro 20 – Modelo de planilha de uma Análise Preliminar de Perigo (APP)	80
Quadro 21 – Apresentação resumida das técnicas HazOp e “What If?”	81
Quadro 22 – Potencialidades e limitações das técnicas APP, HazOp e “What If?” ...	81
Quadro 23 – Estados que requerem o mesmo conteúdo mínimo do Relatório de Encerramento de Emergência da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)	84

Quadro 24 – Estados que não requerem Relatório de Encerramento de Emergência em seus diplomas legais	84
Quadro 25 – Correspondência entre elementos de um sistema de gestão e requisitos da PNSB.....	88
Quadro 26 – Causas e consequências dos acidentes de barragens no Brasil.....	118
Quadro 27 – Dificuldades reportadas pelos fiscalizadores brasileiros	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição de barragens por uso no Brasil.....	32
Tabela 2 – Tipos de materiais de construção mais comuns aplicados às barragens brasileiras no Brasil	33
Tabela 3 – Distribuição de barragens entre os Estados do Brasil.....	35
Tabela 4 – Definições de segurança de barragem segundo referências nacional e internacional.....	37
Tabela 5 – Distribuição de barragens de contenção de água por CRI	62
Tabela 6 – Distribuição de barragens de contenção de água por DPA.....	63
Tabela 7 – Distribuição do NPGB das Barragens com CRI e DPA Altos	68
Tabela 8 – Distribuição das barragens de CRI e DPA Altos e com NPGB em Atenção, Alerta e Emergência por seus usos, Órgão de Fiscalização e Unidades Federativas (UF)	69
Tabela 9 – Indicador de Completude da Informação (ICI) de 2019 a 2020.....	74
Tabela 10 – Distribuição das barragens de contenção de água de CRI e DPA altos e completude mínima de informações por uso principal e UF.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACT-SB	Acordos de Cooperação Técnica para Atuação Conjunta em Segurança de Barragens
ADASA	Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
AGERH	Agência Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo
AL	Estado de Alagoas
ALARP	<i>As Low as Reasonably Practicable</i>
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
ANP	Agência Nacional de Petróleo
AP	Estado do Amapá
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
APP	Análise Preliminar de Perigos
APP	Área de Preservação Permanente (Lei 12.651/2012)
BA	Estado da Bahia
BRICS	Bloco composto por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens
CCPS	<i>Chemical Center of Process Safety</i>
CE	Estado do Ceará
CEHIDRO/ MT	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Mato Grosso
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMP	Cheia Máxima Provável
CNAE	Classificação Nacional de Atividade Econômica
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CRI	Categoria de Risco
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DPA	Dano Potencial Associado
EAR	Estudos de Análise de Risco
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ES	Estado do Espírito Santo
EUA	Estados Unidos da América
FEMA	<i>Federal Guidelines for Dam Safety</i>
FEMARH	Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Roraima
GO	Estado de Goiás
HazOp	<i>Hazard and Operability Study</i>
IAT	Instituto Água e Terra do Estado do Paraná
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICI	Indicador de Completude da Informação
ICOLD	<i>International Commission on Large Dams</i>
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IGARN	Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte
IMAC	Instituto de Meio Ambiente do Estado do Acre
IMASUL	Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul
INEA	Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro
INEMA/BA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia
IPAAM	Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas
ISE	Inspeção de Segurança Especial
ISR	Inspeções de Segurança Regular
LA	Licenciamento ambiental
LI	Licença de instalação
LI	Limite inferior
LO	Licença de operação

LP	Licença prévia
LS	Limite superior
MG	Estado de Minas Gerais
MPE	Metodologia de Priorização de Emergências
MS	Estado do Mato Grosso do Sul
MT	Estado do Mato Grosso
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins
NPA	Nível de Perigo
NPE	Nota de Priorização de Emergências
NPGB	Nível de Perigo Global
NR	Nível de Resposta
O&M	Operação e Manutenção
PA	Estado do Pará
PAE	Plano de Ação de Emergência
PB	Estado da Paraíba
PBA	Plano Básico Ambiental
PE	Estado de Pernambuco
PI	Estado do Piauí
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PR	Estado do Paraná
PSB	Plano de Segurança da Barragem
RBPS	Segurança de Processos Baseada em Risco
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RN	Estado do Rio Grande do Norte
RPSB	Revisão Periódica de Segurança de Barragem
RR	Estado de Roraima
RS	Estado do Rio Grande do Sul
RSB	Relatório de Segurança de Barragens
SC	Estado de Santa Catarina
SDE	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina
SE	Estado de Sergipe
SEDAM	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia

SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SEMA/AP	Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amapá
SEMA/MA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão
SEMA/RS	Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul
SEMAD/MG	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais
SEMAD/GO	Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Goiás
SEMAR	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí
SEMARH/AL	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Alagoas
SEMARH/SE	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Sergipe
SEMAS	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNISB	Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens
SRH	Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
TO	Estado do Tocantins
UF	Unidade Federativa
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
ZAS	Zona de Autossalvamento
ZSS	Zona de Segurança Secundária

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	20
1 METODOLOGIA	24
2 ASPECTOS GERAIS DE BARRAGENS.....	28
2.1 Aplicações mais usuais de barragens no Brasil	31
2.2 Materiais de construção das barragens no Brasil	32
2.3 Distribuição de barragens no Brasil.....	34
3 SEGURANÇA DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE ÁGUA.....	37
3.1 Do que trata a segurança de barragens?.....	37
3.2 Alguns dos grandes acidentes com barragens de contenção de água no mundo	40
3.3 Evolução do número de incidentes e acidentes de rompimento de barragens de contenção de água no Brasil em 10 anos.....	41
3.3.1 Causas e consequências mais frequentes dos acidentes com barragens de contenção de água no Brasil em 10 anos	46
4 REGULAMENTOS E FISCALIZAÇÃO DE BARRAGENS NO BRASIL	48
4.1 Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).....	48
4.2 Órgãos federais e estaduais de fiscalização de barragens.....	51
4.2.1 Acordo de Cooperação Técnica entre Instituições Federais.....	52
5 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO E SUA CORRELAÇÃO COM OS RISCOS E DANOS POTENCIAIS	54
5.1 No mundo	54
5.2 No Brasil	57
5.2.1 Categoria de Risco e Dano Potencial Associado de barragens.....	57
5.2.2 Classificação de barragens no Brasil	64
5.2.3 Completude de informações para a fiscalização de barragens de contenção de água no Brasil	74
6 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO E DE INVESTIGAÇÃO DE	

ACIDENTES.....	77
6.1 Técnicas de análise de risco requeridas pelos órgãos fiscalizadores no Brasil para a gestão de segurança de barragens de contenção de água, por ocasião do licenciamento do empreendimento.....	77
6.2 Técnicas de investigação de acidentes requeridas pelos órgãos fiscalizadores no Brasil para a gestão de segurança de barragens de contenção de água.....	83
7 AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL	87
7.1 Elementos de gestão	87
7.2 Pontos de atenção	91
7.2.1 Qualidade do projeto.....	91
7.2.2 Construção.....	92
7.2.3 Operações	92
7.2.4 Inspeção e manutenção de estruturas e equipamentos.....	92
7.2.5 Gerenciamento de riscos	92
7.2.6 Atendimento a requisitos legais	93
7.2.7 Competência dos profissionais envolvidos	93
7.2.8 Cultura de segurança.....	94
7.2.9 Preparação e resposta a eventuais emergências	94
7.2.10 Planejamento da sua desativação e de seus usos futuros	94
8 A TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO <i>BOW TIE</i> COMO SUGESTÃO DE APRIMORAMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS	95
8.1 Apresentação da técnica de análise de risco <i>Bow Tie</i>	95
8.1.1 Definições	97
8.1.2 Processo	98
8.1.3 Pontos fortes e limitações da técnica <i>Bow Tie</i>	101
CONCLUSÃO	104
REFERÊNCIAS.....	109
APÊNDICE A – Causas e consequências dos acidentes com barragens de	

retenção de água no Brasil.....118

APÊNDICE B – Dificuldades reportadas pelos fiscalizadores brasileiros.....151

INTRODUÇÃO

Algumas invenções ajudaram sobremaneira a evolução da humanidade, entre elas está a construção de barragens para armazenamento de água e assim garantir os seus usos. A sua construção possibilitou uma melhor qualidade de vida, pois dispor de água é uma condição básica para uma sociedade se desenvolver.

A construção de barragens para armazenamento de água permitiu o crescimento de cidades e viabilizou atividades essenciais como a agricultura, a pecuária, o abastecimento urbano e industrial, a geração hidrelétrica, o controle de enchentes e secas etc. Elas podem ser de vários tipos e tamanhos, construídas com os mais diferentes materiais e técnicas, e podem gerar grandes volumes e energia (SILVA, L. C.; MATTOS, U. A. O.; SILVA, J. C., 2023).

Embora inequívoco que as barragens de contenção de água sejam estruturas importantes para a gestão e utilização dos recursos hídricos de uma nação, elas envolvem riscos e impactos, pois já ao serem construídas demandam o alagamento de grandes áreas para a formação do reservatório, impactando a flora, a fauna, a relocação de comunidades etc. Além disso, elas podem liberar acidentalmente grandes massas de água em curto tempo, de consequências humanas, ambientais, sociais e patrimoniais muito severas, o que torna fundamental a implementação de medidas de segurança e fiscalização adequadas.

A gestão de segurança de barragens para armazenamento de água no Brasil apresenta algumas vulnerabilidades abordadas nesta dissertação, entre elas: a regulação e fiscalização sob critérios distintos por inúmeros órgãos públicos, carentes em infraestrutura e efetivo técnico; a insuficiência de dados cadastrais necessários à categorização dos riscos e danos potenciais associados; bem como um aumento significativo nos registros de acidentes de barragens ⁽¹⁾ a partir de 2019.

⁽¹⁾ Definição da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

Acidente de barragem: comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo do reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa.

Uma vez que 96% das barragens cadastradas no Brasil são de contenção de água, esta dissertação tem como objetivo geral: avaliar a gestão da segurança relacionada aos riscos de ruptura de barragens de contenção de água no Brasil, visando contribuir com sugestões para o seu aprimoramento. Para tal, os seguintes objetivos específicos se tornaram necessários:

- a) Apresentar os aspectos gerais das barragens brasileiras;
- b) Apresentar e comparar os conceitos de segurança de barragem no Brasil e no mundo;
- c) Identificar as causas e consequências mais frequentes dos acidentes com barragens de contenção de água ocorridos num intervalo de 10 anos no Brasil;
- d) Reconhecer os regulamentos aplicáveis e a estrutura de fiscalização de barragens de contenção de água no Brasil;
- e) Apresentar os critérios de classificação e sua correlação com os riscos e danos potenciais;
- f) Identificar as técnicas de análise de riscos e de acidentes requeridas pelos órgãos fiscalizadores;
- g) Avaliar a gestão de segurança de barragens de contenção de água no Brasil; e
- h) Apresentar sugestões de aprimoramento do sistema de gestão de segurança de barragens de contenção de água.

De modo a promover uma abordagem integrada e coerente, o referencial teórico, os resultados e a discussão estão agrupados. A integração destes elementos permite uma melhor organização desta dissertação e oferece ao leitor uma forma fluída de acompanhá-la e compreendê-la.

Ela está estruturada de modo que os aspectos gerais de barragens são abordados no item 2. Nele são encontradas as definições fornecidas por instituições no Brasil e no exterior a fim de compreender o termo "barragem"; são apresentados os elementos fundamentais que compõem uma barragem, destacando sua importância e função dentro do contexto da engenharia de barragens; a classificação das barragens de acordo com sua utilização, projeto hidráulico, comportamento estrutural e materiais de construção; as aplicações mais comuns de barragens no território brasileiro; os materiais mais frequentemente empregados na construção de barragens no Brasil, levando em conta suas propriedades, vantagens e

desvantagens; e por fim, uma análise da distribuição das barragens de contenção de água no Brasil, identificando as regiões geográficas que apresentam maior concentração e suas respectivas características.

O item 3 aborda aspectos de segurança. Nele são apresentadas e comparadas as definições de segurança de barragens no Brasil, nos Estados Unidos (EUA) e no Banco Mundial, bem como apresentado o conceito ALARP (*as low as reasonably practicable*) e os pilares básicos da segurança de barragens. Também são mostrados alguns dos acidentes históricos de barragens de contenção de água ocorridos no mundo, bem como apresentada a evolução do número de incidentes e acidentes de rompimento de barragens de contenção de água no Brasil, assim como suas causas e consequências mais comuns. Este item também mostra uma correlação entre gestão de segurança de barragens e gestão de segurança ocupacional em empreendimentos que operam barragens de contenção de água.

O item 4 aborda os regulamentos e fiscalização de barragens no Brasil. Nele são apresentados os marcos regulatórios e de fiscalização de barragens no país, em especial a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e seus principais instrumentos. Nele também são apresentados os órgãos federais e estaduais de fiscalização de barragens brasileiras e o Acordo de Cooperação Técnica em Segurança de Barragens (ACT-SB).

O item 5 aborda os critérios de classificação de barragens e sua correlação com os riscos e danos potenciais. Nele são apresentados exemplos de marcos regulatórios de diferentes países que, comparados aos do Brasil, revelam a convergência na existência de um sistema de classificação e exigências de inspeções de segurança periódicas e planos de emergência. Também são apresentados os Indicadores de Completude da Informação (ICI) das barragens de água cadastradas no Brasil e analisadas as dificuldades na obtenção de suas informações básicas no país.

O item 6 aborda as técnicas de análise de risco e de investigação de acidentes de barragens. Nele são apresentadas técnicas de análise de risco requeridas pelos órgãos fiscalizadores no Brasil para a gestão de segurança de barragens de contenção de água, tanto na ocasião do licenciamento de um empreendimento quanto em situação de investigação e análise de acidentes com barragens.

O item 7 avalia a gestão de segurança de barragens de contenção de água no Brasil, por meio da verificação da correspondência entre elementos de Gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS), do *Chemical Center of Process Safety* (CCPS), e a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Pontos de atenção são apresentados para cada um dos elementos.

O item 8 aborda a importância da resiliência em sistemas de segurança e apresenta a técnica *Bow Tie*, seus pontos fortes e limitações, assim como mostra um exemplo de aplicação hipotética da técnica a uma barragem de contenção de água.

Na conclusão, é consolidada a avaliação sobre o risco de acidentes em barragens de contenção de água e são oferecidas sugestões, em especial o uso do *Bow Tie*, a fim de aprimorar a gestão de segurança destas barragens no Brasil.

METODOLOGIA

Esta dissertação foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica de fontes nacional e estrangeira, a fim de obter uma visão abrangente das práticas e abordagens adotadas em diferentes contextos.

Realizada busca sistemática de literatura em bases de dados do Google Acadêmico, do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), da legislação brasileira, de agências reguladoras brasileiras, do Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens (SNISB), do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), do *Center for Chemical Process Safety (CCPS)*, da *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*, do *International Commission on Large Dams (ICOLD)*, do *US Bureau of Reclamation* e do *US Army Corps of Engineers*.

Esta busca viabilizou alcançar livros, teses, dissertações, artigos científicos, leis, resoluções, normas técnicas e relatórios de agências reguladoras, que permitiram conhecer o tema sob diferentes perspectivas teóricas e práticas. As palavras-chave utilizadas constam no Quadro 1, que apresenta detalhes dos procedimentos metodológicos para cada objetivo específico da presente dissertação.

Ao longo do desenvolvimento da dissertação, seu autor e orientadores a aproveitaram como base para a elaboração do artigo *Dams safety: An analysis of safety management and the difficulties of its supervision*, publicado em 1 de abril de 2023 na revista *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 45, e6 2023 (DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X72372>).

Quadro 1 – Procedimentos metodológicos

(Continua)

Objetivo específico:	
a) Apresentar os aspectos gerais das barragens brasileiras.	
Procedimento metodológico	Resultado esperado
Conteúdo construído a partir da consulta e tratamento de dados obtidos em 04/07/2022 no portal do Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens (SNISB).	Conhecer o que é uma barragem; seus principais componentes; suas aplicações mais usuais no Brasil; os tipos de materiais de construção mais frequentemente aplicados; o quanto as utilizadas para a contenção de água representam do total inventariado do Brasil, bem como a sua distribuição no Brasil.

(Continuação)

Objetivo específico:	
b) Apresentar e comparar os conceitos de segurança de barragem no Brasil e no mundo.	
Procedimento metodológico	Resultado esperado
Conteúdo construído a partir da consulta e tratamento de informações obtidas na PNSB e em artigos acadêmicos, relatórios e normas estrangeiras selecionadas após filtro no google acadêmico com as palavras-chave “ <i>safety dam</i> ”, “segurança de barragens” e “gestão de segurança”.	Obter uma visão geral sobre o conceito e algumas diferentes abordagens de segurança de barragens e seus objetivos convergentes, bem como a apresentar modelos de gestão aplicados à segurança do trabalhador que podem ser estendidos à segurança de barragens, guardadas às especificidades de cada propósito.
Objetivo específico:	
c) Identificar as causas e consequências mais frequentes dos acidentes com barragens de contenção de água ocorridos num intervalo de 10 anos no Brasil.	
Procedimento metodológico	Resultado esperado
Conteúdo construído a partir da consulta e tratamento de dados obtidos nos Relatórios de Segurança de Barragens de 2011 a 2021 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), bem como da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) do Brasil e de artigos acadêmicos, dissertações e teses selecionadas após filtro no google acadêmico com as palavras-chave “ <i>safety dam</i> ”, “segurança de barragens” e “gestão de segurança”.	Conhecer alguns dos grandes acidentes históricos de barragens de contenção de água no mundo e comparar seus impactos com os ocorridos no Brasil de 2011 a 2021; destacar as causas mais comuns dos acidentes nas barragens brasileiras e o motivo das consequências não terem sido tão severas quanto às dos acidentes históricos no mundo; perceber a concentração dos acidentes de barragens brasileiras de 2011 a 2021 nas regiões sudeste e nordeste; e comparar dados de segurança ocupacional de atividades econômicas brasileiras que utilizam barragens de contenção de água para seus objetivos empresariais.
Objetivo específico:	
d) Reconhecer os regulamentos aplicáveis e a estrutura de fiscalização de barragens de contenção de água no Brasil.	
Procedimento metodológico	Resultado esperado
Conteúdo construído a partir da consulta e tratamento de informações obtidas na PNSB, nos Relatórios de Segurança de Barragens de 2011 a 2021 da ANA, e em relatórios anuais dos Acordos de Cooperação Técnica para Atuação Conjunta em Segurança de Barragens (ACT-SB) encontrados nas publicações do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Disponível em < https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/acordo-de-cooperacao-tecnica-para-atuacao-conjunta-em-seguranca-de-barragens >.	Compreender os objetivos, a aplicabilidade e os principais instrumentos da PNSB do Brasil; conhecer sobre a atividade de fiscalização no Brasil, bem como a cooperação entre diferentes instituições brasileiras por meio do ACT-SB.

(Continuação)

Objetivo específico:	
e) Apresentar os critérios de classificação e sua correlação com os riscos e danos potenciais.	
Procedimento metodológico	Resultado esperado
<p>Conteúdo construído a partir da consulta e tratamento de informações obtidas no acervo de regulamentos do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); do Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens (SNISB); da ANA e de todas as UF do Brasil. Consultado também artigos acadêmicos, dissertações e teses selecionadas após filtro no google acadêmico com as palavras-chave “<i>safety dam</i>” e “segurança de barragens”, bem como os Relatórios de Segurança de Barragens de 2011 a 2021 da ANA.</p>	<p>Apresentar exemplos de marcos regulatórios de diferentes países, e perceber que apesar das diferenças em relação ao modelo brasileiro, há convergência na existência de um sistema de classificação e exigências de inspeções de segurança periódicas e planos de emergência.</p> <p>No contexto brasileiro, apresentar os critérios para a classificação de barragens por categoria de risco (CRI), dano potencial associado (DPA), volume, Nível de Perigo e Nível de Perigo Global (NPGb), bem como os requisitos que derivam desta classificação.</p> <p>Perceber que a classificação é mutável, devido à suscetibilidade a variações dos parâmetros de categoria de riscos e danos potenciais associados.</p> <p>Notar que no Brasil, diferentemente das suas barragens para uso hidroelétrico, a maioria das barragens para os demais usos não estão classificadas em razão de dificuldades na obtenção de informações básicas das barragens fiscalizáveis no Brasil.</p>
Objetivo específico:	
f) Identificar as técnicas de análise de riscos e de acidentes requeridas pelos órgãos fiscalizadores.	
Procedimento metodológico	Resultado esperado
<p>Conteúdo construído a partir da consulta e tratamento de informações obtidas no acervo de regulamentos e normas técnicas de todas as UF do Brasil, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB); Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Consultado também artigos acadêmicos, dissertações e teses selecionadas após filtro no google acadêmico com as palavras-chave “<i>safety dam</i>”, “segurança de barragens” e “Bow Tie”, bem como uma entrevista com a Dra. Cristiane Battiston, Coordenadora-Geral de Gestão Integrada na Secretaria Nacional de Segurança Hídrica do Ministério do Desenvolvimento Regional, cujo Curriculum Lattes está disponível em <http://lattes.cnpq.br/4870411478756860>.</p>	<p>Analisar comparativamente procedimentos de licenciamento ambiental para a construção de barragens de grandes projetos hidrelétricos dos BRICS, bem como compreender o papel e a importância do licenciamento ambiental como instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente no Brasil, e em especial as técnicas de análise de riscos demandadas pelos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA).</p> <p>Compreender os requisitos legais relacionados ao relatório de encerramento de emergência para barragens de contenção de água no Brasil, bem como reconhecer a inexistência de requisitos legais para a aplicação de uma técnica específica na investigação e análise de acidentes em barragens de contenção de água.</p>

(Continuação)

Objetivo específico:	
g) Avaliar a gestão de segurança de barragens de contenção de água no Brasil.	
Procedimento metodológico	Resultado esperado
Conteúdo construído a partir de elementos estruturantes de gestão no livro <i>Gestão de Segurança de Processos Baseada em Risco (RBPS)</i> , do <i>Chemical Center of Process Safety (CCPS)</i> , bem como com a PNSB do Brasil.	Obter uma visão abrangente dos desafios e vulnerabilidades associados à segurança das barragens de água no Brasil, destacando os aspectos fundamentais de segurança de barragens e comparando os instrumentos da PNSB com alguns elementos estruturantes do sistema de gestão de segurança baseada em risco, do <i>Chemical Center of Process Safety (CCPS)</i> .
Objetivo específico:	
h) Apresentar sugestões de aprimoramento do sistema de gestão de segurança de barragens de contenção de água.	
Procedimento metodológico	Resultado esperado
As sugestões de aprimoramento são próprias do autor, a partir de pontos de atenção que na visão do autor podem trazer vulnerabilidades ou oportunidades de melhoria ao sistema de gestão de segurança de barragens. A técnica de análise de risco <i>Bow Tie</i> é a principal proposta da dissertação, que usou como referência a Norma ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012, bem como artigos nacionais e estrangeiros selecionados no google acadêmico com as palavras-chave " <i>Bow Tie</i> " e "engenharia de resiliência".	Compreender a importância da resiliência em sistemas de segurança e sugerir o uso da técnica <i>Bow Tie</i> com vistas ao aprimoramento do sistema de gestão de segurança de barragens no Brasil. Apresentar a técnica de análise de risco <i>Bow Tie</i> e compreender como ela pode ser usada para descrever e analisar os caminhos de um acidente de barragem, desde as causas até as consequências, identificando as barreiras preventivas e de mitigação.

Fonte: O autor, 2023.

ASPECTOS GERAIS DE BARRAGENS

Diversas são as definições dadas por instituições no Brasil e no exterior para barragens, entre elas:

- a) A da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB): qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (BRASIL, 2010).
- b) A do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB): estrutura construída transversalmente a um curso d'água, com a finalidade de represar e/ou elevar o nível da água, formando um reservatório artificial (COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS, 2010).
- c) A da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2023).
- d) A do *United States Army Corps of Engineers* (USACE): o USACE define barragem como uma barreira artificial, incluindo obras anexas, construída para a finalidade de armazenamento, controle ou desvio de água, e que é de vinte e cinco pés ou mais em altura do leito natural do córrego ou curso de água (*US ARMY CORPS OF ENGINEERS*, 2014).
- e) A do *International Commission on Large Dams* (ICOLD): define como grande barragem aquela com uma altura de 15 metros ou mais de fundação mais baixa até a crista ou uma barragem entre 5 metros e 15 metros apreendendo mais de 3 milhões de metros cúbicos (*INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS*, 2011).

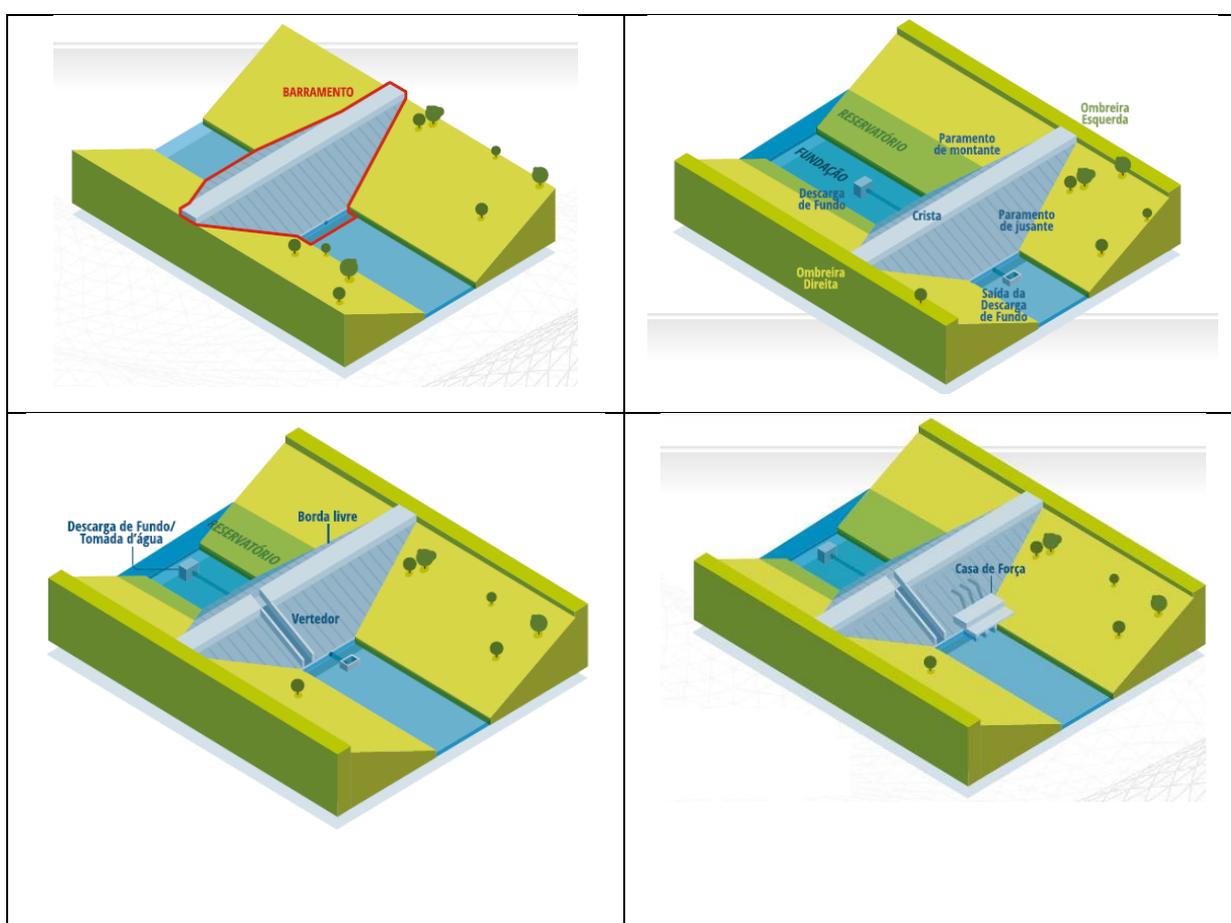
Interessante perceber que as definições são convergentes, embora o USACE e o ICOLD incluam o critério altura em suas definições.

As barragens são construídas em áreas estratégicas onde há disponibilidade de água em quantidade suficiente e onde se deseja controlar o fluxo desse recurso.

Podem envolver a criação de paredes de concreto, represas de terra ou uma combinação de ambos os materiais. A escolha do tipo de barragem depende de fatores como o tipo de solo local, a quantidade de água a ser armazenada e o uso pretendido da barragem, além de recursos financeiros para a construção e manutenção.

Os principais componentes de uma barragem são a estrutura de retenção ou barramento, a sua fundação e as ombreiras, a zona vizinha a jusante, as estruturas extravasoras, as estruturas de adução e o reservatório, mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Principais componentes de uma barragem convencional



Fonte: Relatório de segurança de barragens 2020. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2021.

O barramento é a estrutura construída transversalmente ao curso de água e, conjuntamente com a fundação e as ombreiras, é responsável pela retenção da água. Em geral a seção transversal do barramento tem a forma trapezoidal, sendo o lado maior o contato com o terreno natural, chamado de fundação, os lados inclinados designados por taludes ou paramentos, e o lado menor denominado de

coroamento ou crista da barragem. A parte do barramento em contato com a água é chamada de paramento (ou talude) de montante, sendo o outro paramento, do lado oposto à água designado por paramento (ou talude) de jusante.

O coroamento (ou crista) liga transversalmente as duas margens e permite o acesso a vários dos componentes das barragens. O coroamento deve possuir inclinação para o reservatório, de modo a escoar a água das chuvas, e ser, eventualmente, coberto com um pavimento para permitir o tráfego de veículos.

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

As estruturas extravasoras de barragens são constituídas por vertedouros de superfície, com ou sem comportas, para a evacuação de cheias, e por descargas de fundo para o esvaziamento do reservatório. A cota da soleira do vertedouro coincide com o nível máximo normal da barragem. Durante uma cheia o nível da água ultrapassa essa cota, escoando-se a água através do vertedouro.

O nível máximo que se prevê que a água atinja durante uma cheia é designado por nível máximo maximorum. A diferença entre a cota do coroamento da barragem e o nível máximo maximorum é designada de borda livre. Assim, o vertedouro deve ser capaz de permitir a passagem da cheia afluyente de projeto sem que o nível do reservatório ultrapasse a borda livre.

As descargas de fundo são equipadas com uma comporta para a operação normal, podendo ainda dispor de uma comporta adicional de segurança. São, na sua grande maioria, em conduto inserido na fundação da barragem. Para controle, esta tubulação deverá ter origem em uma estrutura de concreto armado, por exemplo, em uma torre de tomada d'água ou numa estrutura denominada "monge" e terminar numa bacia de dissipação.

Para permitir o uso da água do reservatório para qualquer fim, as barragens dispõem de tomada d'água, podendo, em pequenas barragens, a tomada d'água e a descarga de fundo serem uma mesma estrutura. Em barragens de geração de energia elétrica, a água é conduzida até a casa de força (pelo lado do paramento de jusante), onde passa por turbinas e posteriormente é restituída ao rio. Por fim, o reservatório é a água, substância líquida ou mistura de líquidos e sólidos armazenada em uma barragem.

De acordo com o UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION (1987), as barragens podem ser classificadas de acordo com quatro critérios, mostrados no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Classificações de barragens

<p>De acordo com a utilização:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Barragens de armazenamento ou regularização das vazões. • Barragens de derivação para desviar o fluxo para canais. • Barragens para controle das cheias. • Barragens para contenção de rejeitos industriais. 	<p>De acordo com o projeto hidráulico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Barragens vertedoras ou de soleira livre. • Barragens não vertedoras.
<p>De acordo com o comportamento estrutural:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Barragens tipo gravidade. • Barragens estruturadas. 	<p>De acordo com os materiais de construção:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Barragens de concreto ou alvenaria. • Barragens de aterro (terra ou enrocamento).

Fonte: USBR, 1987.

1.1 Aplicações mais usuais de barragens no Brasil

No SNISB constam 23.176 barragens cadastradas, das quais 59% são para irrigação e dessedentação animal (dados de 04/07/2022). A Tabela 1 apresenta a distribuição de barragens por uso no Brasil.

Tabela 1 – Distribuição de barragens por uso no Brasil

Uso principal	Quantidade	Percentual
Irrigação	8.906	38,43%
Dessedentação Animal	4.838	20,88%
Regularização de vazão	2.552	11,01%
Abastecimento humano	1.832	7,90%
Aquicultura	1.420	6,13%
Hidroelétrica	1.303	5,62%
Contenção de rejeitos de mineração	907	3,91%
Industrial	532	2,30%
Recreação	479	2,07%
Paisagismo	215	0,93%
Proteção do meio ambiente	60	0,26%
Contenção de resíduos industriais	47	0,20%
Combate às secas	46	0,20%
Defesa contra inundações	31	0,13%
Contenção de Sedimentos	6	0,03%
Navegação	2	0,01%
Total	23.176	100,00%

Fonte: Dados de 04/07/2022 do SNISB.

Analisando os dados da Tabela 1, conclui-se que cerca de 96% das barragens cadastradas no Brasil são utilizadas para contenção de água, predominantemente empregadas em atividades rurais.

1.2 Materiais de construção das barragens no Brasil

De acordo com o SNISB (dados de 04/07/2022), pouco menos da metade das barragens no Brasil possuem informações sobre seus tipos de material de construção. A Tabela 2 apresenta aqueles mais frequentes aplicados às barragens brasileiras.

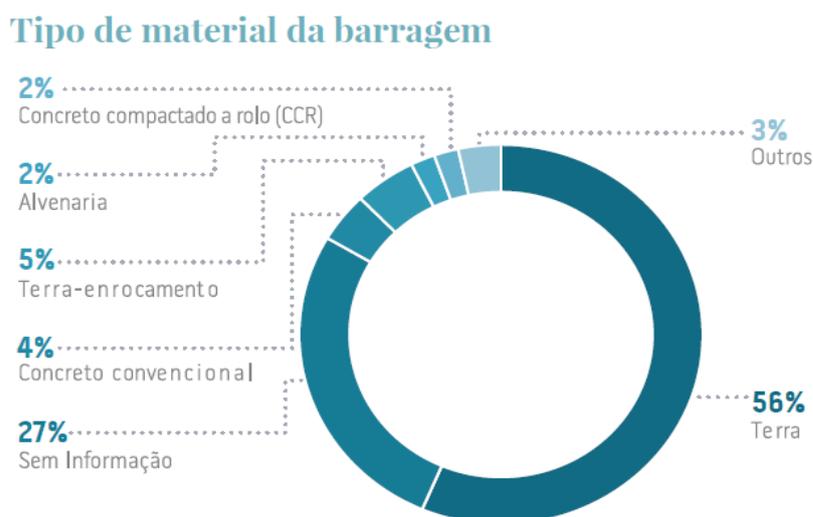
Tabela 2 – Tipos de materiais de construção mais comuns aplicados às barragens brasileiras no Brasil

Uso principal	Tipo de material
Abastecimento humano	Terra
Aquicultura	
Combate às secas	
Contenção de rejeitos de mineração	
Contenção de resíduos industriais	
Defesa contra inundações	
Dessedentação Animal	
Industrial	
Irrigação	
Paisagismo	
Proteção do meio ambiente	
Recreação	
Regularização de vazão	
Navegação	
Hidroelétrica	Concreto convencional

Fonte: Dados de 04/07/2022 do SNISB.

O Gráfico 1 mostra a distribuição dos tipos de materiais empregados na construção de barragens no Brasil.

Gráfico 1 – Distribuição de barragens por tipo de material de construção



Fonte: RSB 2021.

Como mostrado no Gráfico 1, as barragens de terra são as mais empregadas no Brasil, no entanto são mais suscetíveis à saturação do que as de concreto, pois,

por melhor que sejam as características do solo usado na construção de uma barragem de terra, o represamento da água provoca infiltração em parte do barramento a partir de sua base. A altura máxima atingida por esta infiltração determina a “linha de saturação” mostrada na Figura 2, onde abaixo dela o barramento estará sempre umedecido por um pequeno e contínuo fluxo de água, o que demanda medidas preventivas de construção para evitar riscos de rompimento, tais como uma adequada mistura da terra com argila de modo a obter propriedades impermeabilizantes, uma boa compactação, adequados dimensionamento da base e inclinação dos taludes ou mesmo a construção de um núcleo impermeável para evitar a propagação da infiltração por através do barramento.

Figura 2 – Linha de saturação de uma barragem de terra



Fonte: Curso de Construção de Pequenas Barragens de Terra do Centro de Produções Técnicas (CPT) <<https://www.cpt.com.br>>.

1.3 Distribuição de barragens no Brasil

A Tabela 3 apresenta a distribuição de barragens entre as regiões geográficas do Brasil. Das 23.176 barragens cadastradas no SNISB (dados de 04/07/2022), metade delas situam-se na região sul.

Tabela 3 – Distribuição de barragens entre os Estados do Brasil

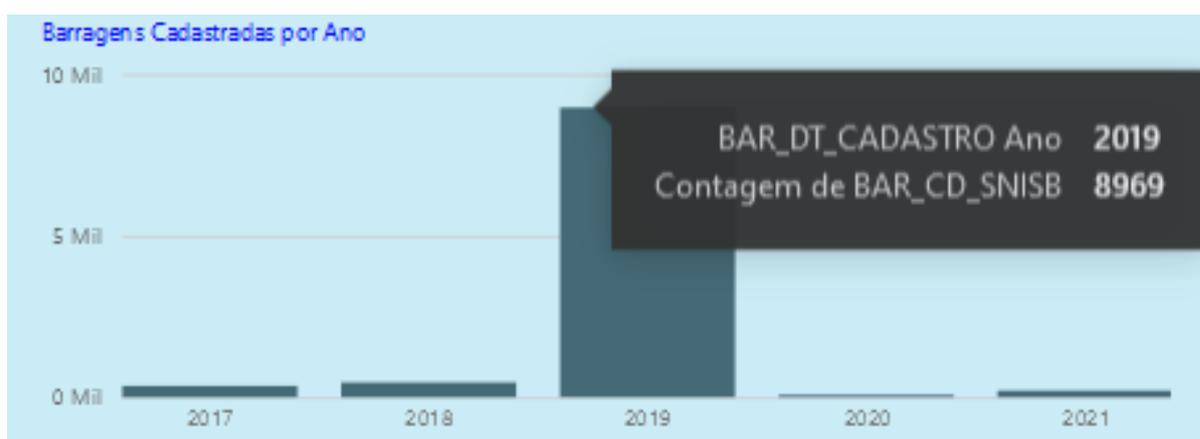
Região	Qt	%
SUL	11.605	50 %
CENTRO-OESTE	3.605	15 %
NORDESTE	3.660	16 %
SUDESTE	2.399	10 %
NORTE	2.007	9 %

Fonte: Dados de 04/07/2022 do SNISB.

A região sul do Brasil possui uma grande quantidade de rios e cursos d'água, o que favorece a construção de barragens de contenção de água. Outro fator é o seu desenvolvimento econômico, pois a região é fortemente industrializada e possui uma grande produção agrícola e pecuária, o que demanda a necessidade de construção de barragens para contenção de água.

O Gráfico 2 mostra que cerca de 90% das barragens do Rio Grande do Sul foram cadastradas em 2019, ano marcado pela tragédia do rompimento da barragem de rejeito de mineração de Córrego do Feijão, em Brumadinho/ MG, em 25/01/2019, o que indica ter havido uma importante mobilização do Estado e seus empreendedores para o cadastramento de suas barragens no SNISB.

Gráfico 2 – Cadastro anual de barragens localizadas no Rio Grande do Sul



Fonte: SNISB, dados de 04/06/2022.

Por outro lado, embora o cadastro tenha sido significativamente incrementado, os dados do Gráfico 3 permitem concluir que 85% delas ainda não estavam classificadas quanto à Categoria de Risco (CRI), nem quanto ao Dano Potencial Associado (DPA), conceitos que serão detalhados no item 1.10 desta dissertação.

Gráfico 3 – Total de barragens não classificadas no Rio Grande do Sul



Fonte: SNISB, dados de 04/06/2022.

SEGURANÇA DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE ÁGUA

1.4 Do que trata a segurança de barragens?

A segurança de barragens se apresenta como uma das vertentes de segurança hídrica, no que se refere à gestão dos riscos e desastres relacionados à água.

De maneira a comparar diferentes definições de segurança de barragens, a Tabela 4 apresenta a definição do PNSB juntamente com as definições da *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) e do Banco Mundial:

Tabela 4 – Definições de segurança de barragem segundo referências nacional e internacional

Referência	Definição de Segurança de Barragem
PNSB (BRASIL, 2010)	Condição que visa a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente.
Banco Mundial (BRADLOW et al, 2002)	Refere-se aos fatores que influenciam as operações seguras da estrutura da barragem e das estruturas adjacentes, e o potencial da barragem de afetar negativamente a vida humana, a saúde humana, a propriedade e o meio ambiente ao seu redor. Isso significa que a segurança de barragens também se preocupa com a adequação das operações e manutenção da barragem, bem como seus planos para lidar com emergências e limitar o impacto negativo das barragens existentes na vida humana, saúde humana, propriedade e meio ambiente.
FEMA (FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, 2004)	É a arte e a ciência de garantir a integridade e viabilidade das barragens de modo que não apresentem riscos inaceitáveis para o público, a propriedade e o meio ambiente. Requer a aplicação coletiva de princípios e experiência de engenharia e uma filosofia de gerenciamento de risco que reconheça que uma barragem é uma estrutura cuja função segura não é explicitamente determinada por seu projeto e construção originais. Também inclui todas as ações tomadas para identificar ou prever deficiências e consequências relacionadas a falhas e documentar, divulgar e reduzir, eliminar ou remediar, na medida do razoavelmente possível, quaisquer riscos inaceitáveis.

Fonte: SILVA L.C. et al, 2023.

Considerando as definições apresentadas, os objetivos abaixo são convergentes:

Manter a:

- Integridade estrutural.
- Segurança operacional.

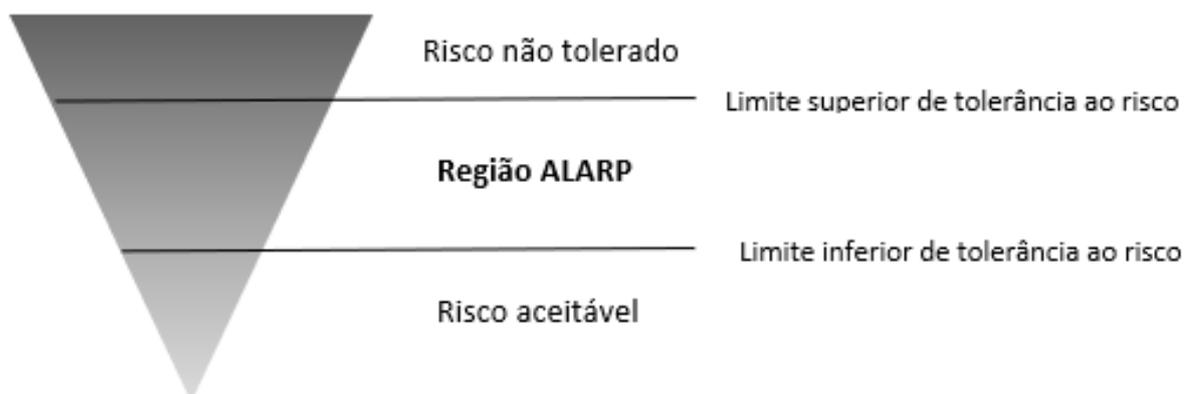
Com o objetivo de:

- Preservação da vida.
- Preservação da saúde.
- Preservação da propriedade.
- Preservação do meio ambiente.

Porém, mais detalhadamente que as demais referências mostradas na Tabela 4, a FEMA adicionalmente considera em sua definição:

- O gerenciamento de risco além do projeto e construção originais;
- O conceito de tolerabilidade de riscos;
- O princípio ALARP (*as low as reasonably practicable*), mostrado na Figura 3, para a implantação de eventuais medidas de controle dos riscos.

Figura 3 – Princípio ALARP (*As Low as Reasonably Practicable*)

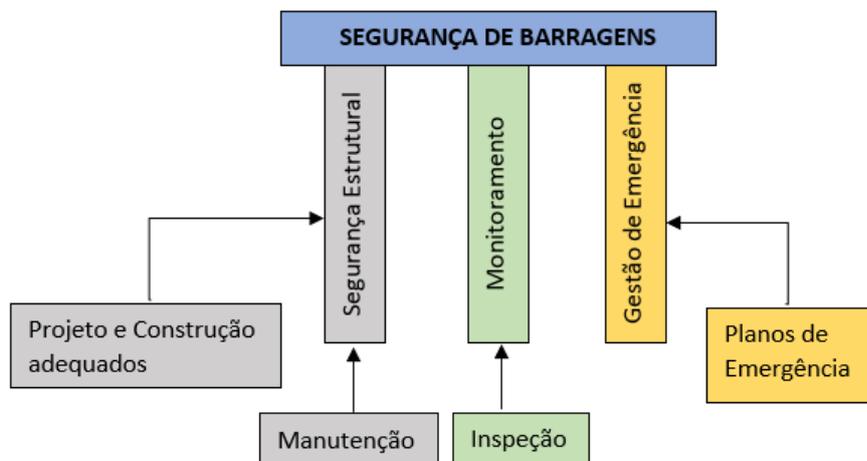


Fonte: Figura adaptada do Chapter 38 - Risk Assessment Methodology | Elsevier Enhanced Reader.

Na região ALARP, o risco é tolerável somente se a redução do risco for impraticável ou se seu custo for muito desproporcional à melhoria obtida.

Biedermann (1997) considera que a segurança de barragens pode ser obtida apoiando-se em três pilares básicos: segurança estrutural (projeto, construção e manutenção adequados), monitoramento e gestão de emergência, como apresentado na Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Pilares básicos da segurança de barragens



Fonte: Adaptado de BIEDERMANN, R. (1997). Safety Concept for Dams: Development of the Swiss concept since 1980. Wasser, Energie, Luft, 89: 55-72.

MATTOS, U. A. O et al (2021) consideram três modelos de gestão que, embora aplicados à segurança e saúde do trabalhador, em alguns aspectos podem ser estendidos à segurança de barragens. São eles: Modelo de Remediação; Modelo de Prevenção e Modelo de Atenção. O Quadro 3 mostra a diferença de abordagem entre os modelos para dois elementos de análise.

Quadro 3 – Diferença de abordagem entre os modelos de gestão de Remediação, Prevenção e de Atenção

Elementos de Análise	Modelos		
	Remediação	Prevenção	Atenção
Visão sobre o acidente	Falha humana	Atos inseguros/ condições inseguras	Falhas organização/ processo de trabalho
Papel do Estado	Estado não desenvolve ações diretas, no máximo normatiza	Estado normatiza e desenvolve ações diretas de fiscalização	Estado normatiza, desenvolve ações diretas de fiscalização, com controle social

Fonte: MATTOS.; SANTOS; ROCHA, 2021.

Correlacionando a abordagem mostrada no Quadro 3, o modelo de Atenção destaca que os acidentes são resultado de falhas de gestão. Isso significa que a ocorrência de incidentes e falhas na segurança não decorrem apenas de uma questão técnica, mas também está relacionada à gestão.

Nesse sentido, o Modelo de Atenção enfatiza a necessidade de uma abordagem mais abrangente na gestão. Isso inclui a atuação do Estado, que

desempenha um papel fundamental na normatização, fiscalização e controle. O Estado tem a responsabilidade de estabelecer regulamentações e padrões de segurança, além de fiscalizar o cumprimento dessas normas pelas empresas.

Ao adotar o Modelo de Atenção, busca-se uma gestão mais proativa e preventiva, em que a identificação e correção de falhas ocorrem antes que incidentes e acidentes aconteçam. Esse modelo busca evitar a repetição de eventos indesejáveis por meio de uma análise aprofundada das causas raízes e da implementação de medidas corretivas e preventivas.

Portanto, o Modelo de Atenção destaca a importância da gestão eficiente e responsável, envolvendo tanto as empresas quanto o papel ativo do Estado na fiscalização e controle. Ao considerar a segurança como uma responsabilidade compartilhada, busca-se garantir uma maior proteção e prevenção de acidentes.

1.5 Alguns dos grandes acidentes com barragens de contenção de água no mundo

- a) Colapso da Barragem de Maumee, EUA - 1913: A Barragem de Maumee, localizada em Ohio, nos Estados Unidos, rompeu em março de 1913, causando uma grande inundação que matou cerca de 400 pessoas e destruiu várias cidades (LARSON, 2013).
- b) Colapso da Barragem de Malpasset, França - 1959: A Barragem de Malpasset, localizada no sul da França, rompeu em dezembro de 1959, causando uma grande inundação que matou cerca de 420 pessoas (DUFFAUT, 2013).
- c) Rompimento da Barragem de Vajont, Itália - 1963: A Barragem de Vajont, localizada no norte da Itália, rompeu em outubro de 1963, causando um “tsunami” que matou cerca de 2.000 pessoas. O desastre ocorreu após uma grande quantidade de terra e rochas caírem no reservatório da barragem, provocando um gigantesco deslizamento de terra que gerou uma onda de água que transbordou do reservatório (MAUNEY, 2023).

- d) Colapso da Barragem de Banqiao, China - 1975: A Barragem de Banqiao, localizada na província de Henan, na China, colapsou durante uma tempestade em agosto de 1975. O evento resultou em uma série de falhas em outras barragens menores na mesma bacia hidrográfica, resultando em um dos piores desastres relacionados a barragens de contenção de água na história, com cerca de 230.000 pessoas mortas ou desaparecidas (LYNCH, 2023).
- e) Colapso da Barragem de Teton, EUA - 1976: A Barragem de Teton, localizada em Idaho, nos Estados Unidos, rompeu em junho de 1976, causando uma grande inundação que matou 11 pessoas e destruiu várias casas (GRAHAM, 2008).
- f) Colapso da Barragem de St. Francis, EUA - 1978: A Barragem de St. Francis, localizada em Missouri, nos Estados Unidos, rompeu em março de 1928, causando a morte de cerca de 400 pessoas (ROGERS et al, 2013).
- g) Rompimento da Barragem de Oroville, EUA - 2017: A Barragem de Oroville, localizada na Califórnia, nos Estados Unidos, apresentou problemas de erosão em sua estrutura em fevereiro de 2017, levando a uma evacuação em massa de cerca de 188.000 pessoas que viviam nas áreas abaixo da barragem (FRANCE et al, 2018).
- h) Rompimento das barragens de terra de Euclides da Cunha e Limoeiro, SP/ Brasil – 1977: Uma tromba d'água atingiu o reservatório da barragem de Euclides da Cunha, da companhia Centrais Hidroelétricas do Rio Pardo, que teve a sua capacidade de vazão do vertedouro excedida. O nível do reservatório subiu rapidamente, a barragem de terra foi galgada e rompeu. A ruptura gerou uma onda cheia que se propagou até a barragem de Limoeiro, 12 km a jusante, que foi também galgada e rompida em 20 minutos (PEREIRA, G.M., 2017).

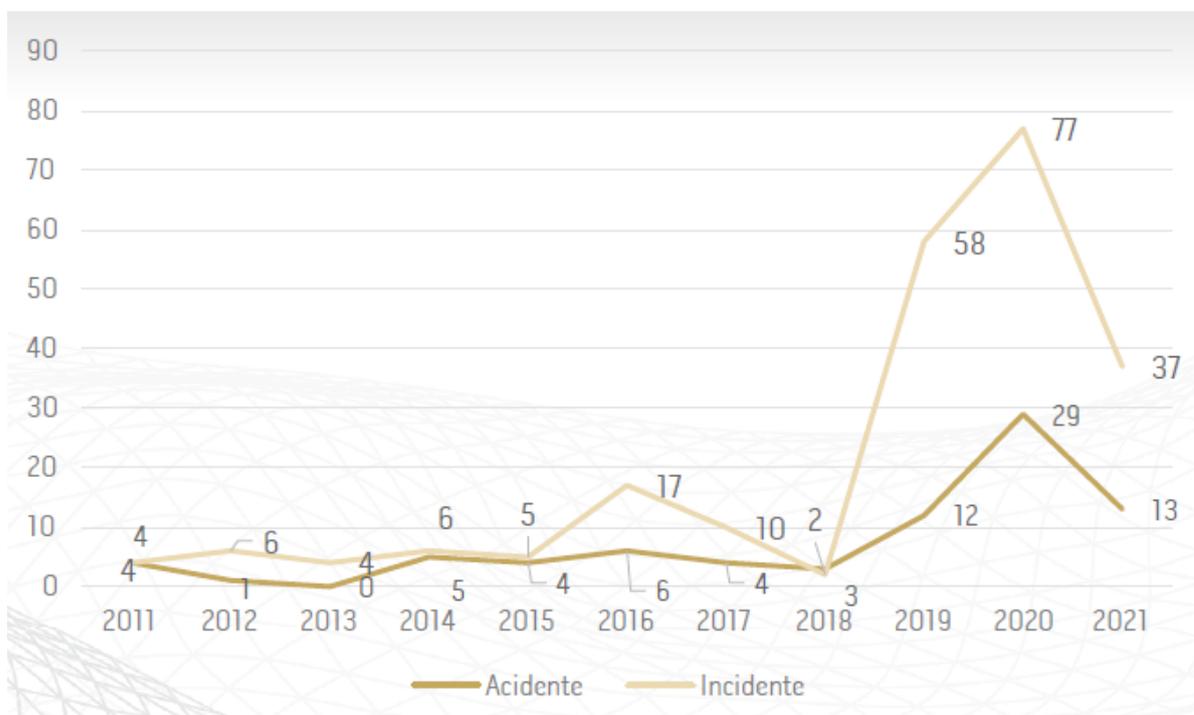
1.6 Evolução do número de incidentes e acidentes de rompimento de barragens de contenção de água no Brasil em 10 anos

A língua portuguesa oferece uma série de termos para designar as anormalidades passíveis de ocorrer na vida útil de uma barragem, cujo significado e abrangência não possuem limites claramente definidos, podendo dar margem a interpretações bastante amplas e até mesmo divergentes. As fronteiras entre as diversas designações, como “desastre”, “ruptura”, “colapso”, “incidente”, “acidente”, “sinistro” são incertas e carecem de uma codificação prévia de linguagem (GUIDICINI et al, 2021). A PNSB traz as definições para acidente, incidente e desastre, elencadas a seguir:

- a) Acidente: comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo do reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa.
- b) Incidente: ocorrência que afeta o comportamento da barragem ou de estrutura anexa que, se não controlada, pode causar um acidente.
- c) Desastre: resultado de evento adverso, de origem natural ou induzido pela ação humana, sobre ecossistemas e populações vulneráveis, que causa significativos danos humanos, materiais ou ambientais e prejuízos econômicos e sociais.

Feito este alinhamento, o Gráfico 4 apresenta a evolução do número de acidentes e incidentes registrados nos relatórios de segurança de barragens (RSB) publicados anualmente pela ANA, de 2011 a 2021, referentes a barragens de todos os tipos de uso, onde se percebe um aumento significativo de acidentes e incidentes nos anos de 2019 e 2020.

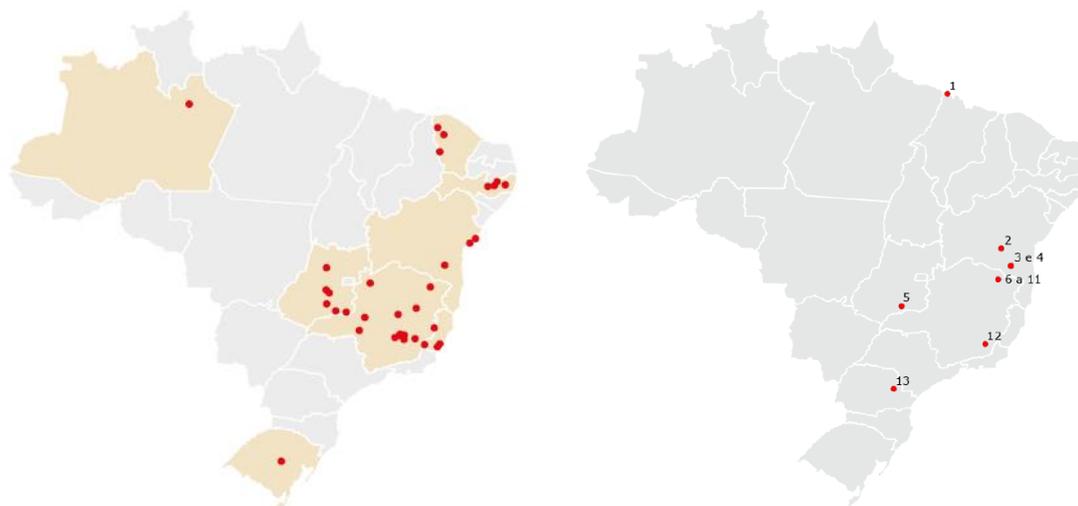
Gráfico 4 – Evolução do número de acidentes e incidentes de barragens no Brasil



Fonte: Relatório de Segurança de Barragens 2021 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

A Figura 5 apresenta a localização dos acidentes no período de abrangência do Relatório Anual de Segurança de barragens da ANA, versões 2020 e 2021, em que se percebe haver uma maior concentração nas regiões sudeste e nordeste, enquanto na região sul, embora concentre metade das barragens brasileiras, apresentou apenas 2 acidentes. Os RSB anuais da ANA não atribuem uma razão para esta performance da região sul, mas, considerando a completude de informações mostrada no Gráfico 2 – Cadastro anual de barragens localizadas no Rio Grande do Sul, é possível inferir sobre um avanço na cultura de segurança, tanto por parte dos empreendedores quanto por parte da fiscalização local, o que leva a um maior comprometimento com as práticas de segurança, o cumprimento de normas e regulamentos, e ações preventivas.

Figura 5 – Localização dos acidentes com barragens no Brasil



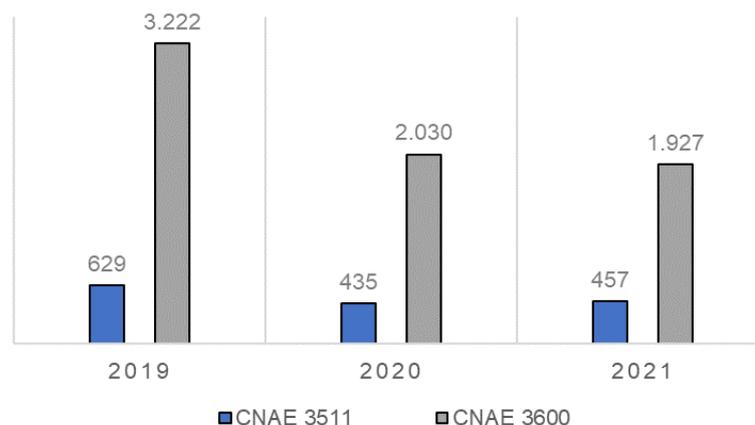
Fonte: RSB 2020 e 2021, ANA.

A segurança de barragens e a gestão de segurança ocupacional dos empreendimentos que operam barragens podem ser comparadas em certos aspectos, pois ambas incluem em seus objetivos a proteção da vida humana por meio da minimização dos riscos de acidentes.

É fundamental para os resultados tanto de segurança ocupacional como de segurança de barragens a implementação de elementos comuns a ambos os sistemas de gestão, tais como uma cultura de segurança sólida, em que a conscientização, a responsabilidade e a adoção de boas práticas sejam valorizadas; uma adequada gestão de riscos e a implementação de defesas; a disciplina na aplicação de leis, regulamentos e normas técnicas; bem como o envolvimento de trabalhadores, comunidades afetadas e outras partes interessadas relevantes.

O Gráfico 5 apresenta a quantidade de acidentes do trabalho ocorridos no Brasil de 2019 a 2021 para duas atividades econômicas que operam barragens de contenção de água.

Gráfico 5 – Número de acidentes do trabalho no Brasil de 2019 a 2021 para os CNAE 3511 e 3600



Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)

3511: Geração de energia elétrica

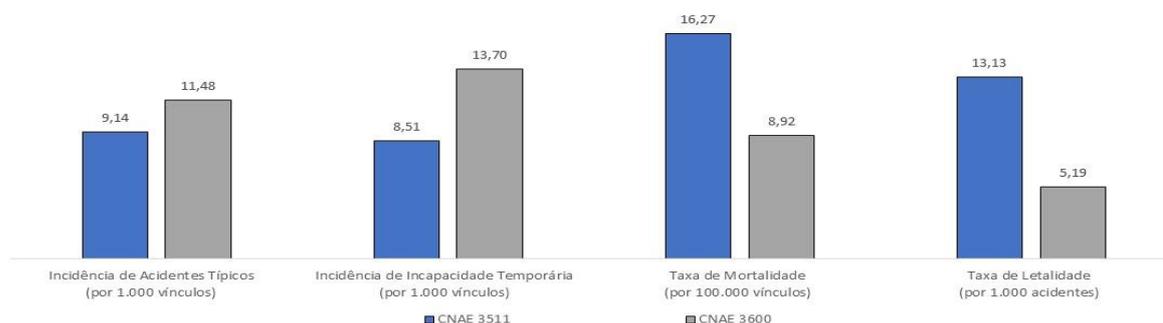
3600: Captação, tratamento e distribuição de água

Fonte: Adaptado do Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho – AEAT do Ministério da Previdência Social do Brasil, 2021.

Percebe-se que a quantidade de acidentes do trabalho da atividade econômica “captação, tratamento e distribuição de água” (CNAE 3600) é muito superior à da “geração de energia elétrica” (CNAE 3511).

Adicionalmente, o Gráfico 6 apresenta indicadores de acidentes do trabalho de 2021 para as mesmas atividades econômicas.

Gráfico 6 – Indicadores de acidentes do trabalho do Brasil em 2021 para os CNAE 3511 e 3600



Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).

3511: Geração de energia elétrica.

3600: Captação, tratamento e distribuição de água.

Taxa de Mortalidade: Número de mortes decorrentes de acidentes ou doenças ocupacionais em relação a um grupo específico de trabalhadores em um determinado tempo.

Taxa de Letalidade: Proporção de acidentes ou doenças ocupacionais que resultam em óbito em relação ao número total de casos.

Fonte: Adaptado do Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho – AEAT do Ministério da Previdência Social do Brasil, 2021.

Percebe-se que as incidências de acidentes típicos e de incapacidade temporária da atividade econômica “captação, tratamento e distribuição de água” são superiores à da “geração de energia elétrica”, embora as taxas de mortalidade e letalidade sejam menores, o que indicam que a atividade de captação, tratamento e distribuição de água é mais suscetível a acidentes, porém de menores gravidade.

No contexto das atividades econômicas mencionadas, a resiliência (capacidade de um sistema se adaptar, se recuperar e até mesmo se fortalecer após a ocorrência de perturbações) se manifesta de maneiras diferentes. No caso da "captação, tratamento e distribuição de água", a presença de uma maior incidência de acidentes pode estar associada a uma abordagem mais adaptativa, flexível e ágil a eventos adversos. Isso significa que, embora os acidentes ocorram com mais frequência, as operações e sistemas estão preparados para lidar com essas situações, minimizando o impacto geral. Já na geração de energia elétrica, uma perturbação grave pode levar a interrupções prolongadas e a um impacto mais significativo na sociedade.

Embora existam semelhanças entre a gestão de segurança de barragens e a gestão de segurança ocupacional, é importante reconhecer que cada uma apresenta desafios e considerações específicas. Portanto, embora haja paralelos, é essencial abordar cada área com as medidas adequadas para garantir a segurança efetiva em ambos os contextos.

1.6.1 Causas e consequências mais frequentes dos acidentes com barragens de contenção de água no Brasil em 10 anos

Mediante a análise dos dados do APÊNDICE A – Causas e consequências dos acidentes com barragens de contenção de água no Brasil, percebe-se que na maioria dos acidentes em 10 anos no Brasil as barragens foram construídas de terra, com altura inferior a 15 metros, volume inferior a 3 hm³, instaladas em propriedades rurais em Minas Gerais e Goiás e de empreendedores pessoas físicas. A altura e volume da maioria destas barragens acidentadas não superam os limites do estabelecido para enquadramento na PNSB, a ser tratado no item 1.7 desta dissertação, em especial o Quadro 4 – Aplicação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

Percebe-se que as causas mais frequentes dos acidentes apresentados estão relacionadas ao recebimento de grandes volumes de água em curto espaço de tempo, muitas vezes provocados por fortes chuvas e até mesmo pelo rompimento de barragens à montante. Falhas, subdimensionamento ou inexistência de mecanismos de segurança (vertedouros, sistemas de descarga etc.) não extravasaram os grandes volumes recebidos e com isso o galgamento, que degrada a estrutura à jusante das barragens. Falhas estruturais nas barragens (vegetação, construções indevidas, perfurações, trincas, rachaduras, erosões etc.) as tornaram mais frágeis para resistir aos esforços da massa d'água recebida.

HASSAN et al (2017) destacam que nos desastres do tipo escorregamentos de encostas, a chuva tem um papel pioneiro nos processos de ruptura dos taludes, pois alteram a dinâmica da infiltração, interagem com as características geológicas dos maciços terrosos e rochosos e alteram os índices de umidade no solo, e que para áreas relativamente pequenas, com processo de instabilização lento, a instrumentação geotécnica (piezômetros, medidores de nível d'água, inclinômetros e indicadores de deslocamento superficial) oferece bons resultados, especialmente quando se consegue associar o aumento da velocidade de deslocamento da massa monitorada com risco de ruptura integral.

Percebe-se também que as consequências desses acidentes com barragens de água não foram tão severas, dado ter impactado pequenas populações, com prejuízos patrimoniais de pequena monta e nenhuma vítima fatal. As consequências mais severas foram a provocação de rompimentos de barragens à jusante.

REGULAMENTOS E FISCALIZAÇÃO DE BARRAGENS NO BRASIL

1.7 Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)

A Lei 12.334/2010, atualizada pela Lei 14.066/2020, estabeleceu no Brasil a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). A PNSB se aplica a barragens que apresentem pelo menos uma das seguintes características apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Aplicação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)

- Altura do maciço maior ou igual a 15 metros.
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³.
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis.
- Categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.
- Categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador.

Fonte: Adaptado da Lei 12.334/2010, atualizada pela Lei 14.066/2020.

São objetivos da PNSB, resumidamente:

- a) A prevenção de acidentes, desastres e suas consequências ⁽²⁾;
- b) Regulamentar as ações de segurança em todo o ciclo de vida da barragem;
- c) Promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;
- d) Criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público;

⁽²⁾ Definições da PNSB:

Acidente: comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo do reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa.

Desastre: resultado de evento adverso, de origem natural ou induzido pela ação humana, sobre ecossistemas e populações vulneráveis, que causa significativos danos humanos, materiais ou ambientais e prejuízos econômicos e sociais.

- e) Coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;
- f) Estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;
- g) Fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos;
- h) Definir procedimentos emergenciais e fomentar a atuação conjunta de empreendedores, fiscalizadores e órgãos de proteção e defesa civil em caso de incidente, acidente ou desastre.

Um importante fundamento da PNSB é que o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, pelos danos decorrentes de seu rompimento, vazamento ou mau funcionamento e, independentemente da existência de culpa, pela reparação desses danos.

A PNSB possui nove instrumentos, dos quais destacam-se os seis abaixo elencados que possuem relação direta com a prevenção de ruptura de barragens:

- a) O sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado:
 - As barragens são classificadas pelos agentes fiscalizadores por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo CNRH.
- b) O Plano de Segurança da Barragem:
 - Compreende informações mínimas tais como identificação do empreendedor; dados técnicos de construção, operação e manutenção da barragem; estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem; manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem; regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem; indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem

resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem; Plano de Ação de Emergência (PAE); relatórios das inspeções de segurança regular (ISR) e especial (ISE); revisões periódicas de segurança (RPS); identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e dos cenários possíveis de acidente ou desastre; mapa de inundação, considerado o pior cenário identificado e identificação e dados técnicos das estruturas, das instalações e dos equipamentos de monitoramento da barragem;

- Sua periodicidade de atualização, a qualificação do seu responsável técnico, seu conteúdo mínimo e nível de detalhamento são estabelecidos pelo órgão fiscalizador da barragem;
- Deve estar disponível e acessível no local do empreendimento;
- Elaborado e assinado por responsável técnico, deve incluir manifestação de ciência por parte do empreendedor, no caso de pessoa física, ou do titular do cargo de maior hierarquia na estrutura da pessoa jurídica.

c) O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB):

- Compreende sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de suas informações e contempla barragens em construção, em operação e desativadas;
- Mantém informações sobre incidentes, acidentes e desastres;
- A inserção dos dados está sob a responsabilidade de cada órgão fiscalizador de segurança de barragens no Brasil;
- É gerido pela ANA.

d) O Relatório de Segurança de Barragens (RSB):

- Sua elaboração é coordenada pela ANA, anualmente, com informações enviadas pelos órgãos fiscalizadores. Apresenta à sociedade um panorama da evolução da gestão da segurança das barragens brasileiras e da implementação da PNSB e destaca os principais acontecimentos no ano de referência;
- O RSB é apreciado pelo CNRH e, em seguida, divulgado ao Congresso Nacional, às Assembleias Legislativas, à Câmara Legislativa do Distrito Federal e aos Governos Federal, Estaduais e Distrital.

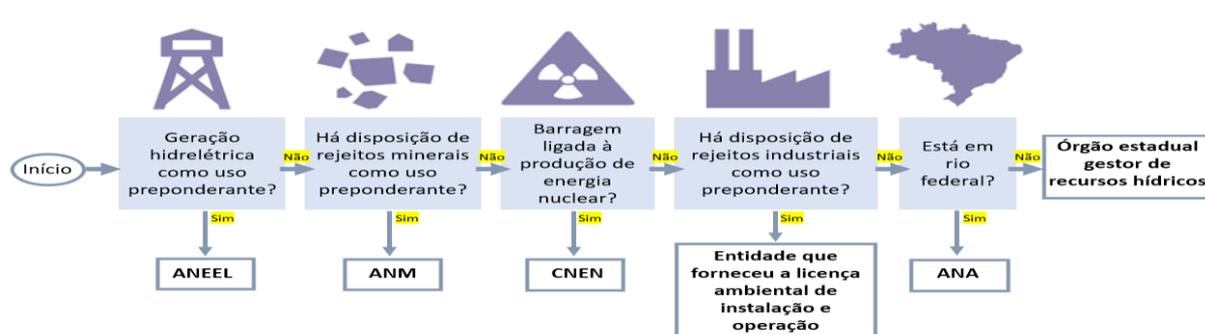
e) O monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência;

f) Os guias de boas práticas em segurança de barragens.

1.8 Órgãos federais e estaduais de fiscalização de barragens

As barragens no Brasil são fiscalizadas por órgãos públicos. O diagrama mostrado na Figura 6 apresenta o órgão fiscalizador das barragens, a depender do seu uso prioritário e do domínio do corpo d'água em que ela se encontra.

Figura 6 – Órgãos públicos fiscalizadores de barragens no Brasil



ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANM: Agência Nacional de Mineração.

CNEN: Comissão Nacional de Energia Nuclear.

ANA: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

Fonte: Figura adaptada do Relatório de segurança de barragens 2020, da ANA.

Os órgãos fiscalizadores são responsáveis por:

- a) Cadastrar a barragem sob sua jurisdição e editar seus dados no portal do SNISB;
- b) Emitir autorização para implantar ou regularizar a barragem (na forma de outorga, concessão, autorização, licença de instalação e operação dos empreendimentos);
- c) Editar regulamentos próprios sobre segurança de barragens;
- d) Classificar a barragem quanto ao DPA e CRI e exigir do empreendedor medidas que levem à redução da categoria de risco;
- e) Determinar se a barragem se submete ou não à PNSB e exigir o Plano de Segurança dela, quando couber;
- f) Manter canal de comunicação para receber denúncias e oferecer informações;
- g) Fiscalizar suas barragens;
- h) Dar ciência ao órgão de proteção e defesa civil quando da fiscalização resultar medidas emergenciais.

1.8.1 Acordo de Cooperação Técnica entre Instituições Federais

O Acordo de Cooperação Técnica em Segurança de Barragens (ACT-SB) é uma parceria entre instituições federais para o desenvolvimento de ações conjuntas e coordenadas para a execução da PNSB e da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei 12.608 de 10 de abril 2012). O Acordo visa promover a articulação de ambas as políticas, com o propósito maior de salvaguardar vidas humanas, bens materiais e meio ambiente em situações relacionadas à segurança de barragens.

O Acordo de Cooperação Técnica é composto pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Mineração (ANM), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) e pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC).

O somatório das diferentes competências e capacidades institucionais, além de expertises diversas, promove maior efetividade na implementação das Políticas Públicas envolvidas, gerando maior segurança para a população.

O ACT-SB tem a finalidade de promover a cooperação mútua entre seus participantes, tendo como objetivos:

- a) Recebimento e compartilhamento de comunicados e denúncias sobre segurança de barragens;
- b) Atuação conjunta em casos de emergência envolvendo segurança de barragens;
- c) Apoio ao reconhecimento federal de emergência ou estado de calamidade pública;
- d) Compartilhamento de dados e informações;
- e) Transferência de conhecimento;
- f) Cursos e treinamento.

CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO E SUA CORRELAÇÃO COM OS RISCOS E DANOS POTENCIAIS

1.9 No mundo

Andreetta (2020) abordou em sua dissertação de mestrado marcos regulatórios sobre segurança de barragens da África do Sul, Argentina, Austrália, China, Portugal e Estados Unidos. Seis países; um de cada continente. O Quadro 5 apresenta o resultado.

China e Portugal, semelhantemente ao Brasil, enquadram em suas políticas as barragens com altura de maciço a partir de 15 metros. Os demais países são mais restritivos, com limites menores ou mesmo, no caso da Argentina, não definido.

Quanto ao critério capacidade da barragem, chama atenção o fato de o Brasil enquadrar na PNSB barragens a partir de 3.000.000 m³, sendo três vezes maior que as referências da China e de Portugal.

A despeito das diversas diferenças nos marcos dos países amostrados, percebe-se a convergência quanto à existência de um sistema de classificação que permite priorizar as ações estruturais, a exigência de realização de inspeções de segurança periódicas e a elaboração de planos de emergência.

Quadro 5 – Políticas de segurança de barragens no mundo

(Continua)

POLÍTICA (MARCO LEGAL)	
Brasil	Lei nº 12.334/2010 - PNSB
África do Sul	Act nº 36 (1998) - Lei Nacional da Água e DSR (1986 atualizada em 2012)
Argentina	Lineamiento de Seguridad de Presas PL S-4242/2018 - Ley de Seguridad de Presas y Embalses
Austrália	ANCOLD - GDSM para barragens de referência (1994 atualizado em 2003) / Marcos Regulatórios estaduais e territoriais
China	SL 258/2017 - Diretrizes para Avaliação de Segurança de Barragens
Estados Unidos	FEMA nº 93/2004 - Diretrizes Federais para Segurança de Barragens
Portugal	Decreto-Lei nº 21/2018

(Continuação)

ENQUADRAMENTO			
	Altura (m)	Capacidade (m³)	DPA
Brasil	15	3.000.000	Médio ou Alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas
África do Sul	5	50.000	Existente
Argentina	Não consta	Não consta	Existente
Austrália	Altura maior que 10 metros e volume igual ou maior 20.000 m ³ , altura maior que 5 metros e volume igual ou maior a 50.000 m ³ . Conforme marco regulatório		Existente
China	15	1.000.000	Não é pré-requisito
Estados Unidos	7,62 metros. Dispensadas das aplicações legais as que não excederem 1,83 m	61.674 m ³ . Dispensadas das aplicações legais as que não reservem mais que 18.502 m ³	Existente
Portugal	RSB: altura igual ou maior que 15 metros ou altura igual ou maior que 10 metros com no mínimo 1.000.000 m ³ armazenados RPB: altura mínima de 2 metros e inferior a 10 metros ou altura entre 10 e 15 metros com volume inferior a 1.000.000 m ³		Não é pré-requisito
RESPONSÁVEL LEGAL PELA BARRAGEM			
Brasil	Empreendedor (quem detém os direitos de exploração)		
África do Sul	Proprietário (quem detém direitos de controle)		
Argentina	Entidade responsável, podendo ser: instituição ou agência do governo, proprietário da barragem ou o operador responsável pela exploração		
Austrália	Proprietário da barragem		
China	Proprietário da barragem		
Estados Unidos	Proprietário da barragem		
Portugal	Proprietário da barragem e dono da obra		
CLASSIFICAÇÃO			
	Critérios	Classes	
Brasil	Categoria de Risco, Dano Potencial Associado e Volume	Variável conforme os marcos regulatórios entre 3 a 5 classes, denominadas pelas letras A a E	
África do Sul	Classe de Tamanho e Dano Potencial Associado	Classes I, II e III	
Argentina	Dano Potencial Associado	Classes I, II e III	
Austrália	Dano Potencial Associado	Muito baixa; baixa; significativa; alto C; alto B; alto A; e extremo	

(Continuação)

China	Qualidade do projeto, operação, padrão de controle de manutenção e de inundação e infiltração, segurança sísmica e segurança estrutural	Classes A, B e C
Estados Unidos	Dano Potencial Associado	Classes: Baixo, Significativo e Alto
Portugal	Risco (altura e volume) e Dano Potencial Associado	Classes I, II e III
INSPEÇÕES		
	TIPO	PERIODICIDADE
Brasil	Regular e Especial	Regular: Variável conforme os marcos regulatórios e a classificação Especial: usualmente antes do 1º enchimento e/ou em caso de ocorrências excepcionais
África do Sul	Regular e Formal	Regular: variável, mas, no mínimo, semanal Formal: intervalos entre 5 e 10 anos conforme classificação
Argentina	Rotina, Anuais ou Bianuais e Especiais	Rotina: semanal ou mensal Anual ou Bianual: realiza-se junto as revisões periódicas de segurança Especial: após eventos extremos
Austrália	Conforme marco regulatório	Conforme marco regulatório
China	Diariamente, Anual e Especial	Diariamente: todos os dias Anual: antes e depois da estação chuvosa e no final de cada ano Especial: quando é percebido sinais de danos ou risco de emergência
Estados Unidos	Informal, Intermediária, Formal e Especial	Informal: agendada pela equipe de especialistas Intermediária: no mínimo bianual Formal: no mínimo a cada 5 anos Especial: imediatamente após um evento extremo
Portugal	Antes do primeiro enchimento, depois do primeiro enchimento e inspeções visuais	Antes do primeiro enchimento: antes, simultaneamente ou após o término da construção da barragem Depois do primeiro enchimento: antes do início da operação Inspeções visuais: variáveis de acordo com o cronograma do plano de observação, quando a Autoridade considerar apropriado e após ocorrências excepcionais

(Continuação)

EXIGÊNCIA DO PAE	
Brasil	Variável conforme os marcos regulatórios e a classificação
África do Sul	Todas que atendam aos requisitos
Argentina	De acordo com a classificação por uso e dano potencial
Austrália	Conforme marco regulatório
China	Reservatórios grandes e médios
Estados Unidos	Todas que atendam aos requisitos
Portugal	Classes I e II

Fonte: Andreetta, A.B. Avaliação comparativa dos marcos regulatórios estaduais de segurança de barragens de usos múltiplos do Brasil. 2020, 395 f.

1.10 No Brasil

1.10.1 Categoria de Risco e Dano Potencial Associado de barragens

No Brasil, as barragens são classificadas pelos agentes fiscalizadores por categoria de risco (CRI), por dano potencial associado (DPA) e volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo CNRH, por meio da sua Resolução nº 143 de 10/07/2012, resumidos no Quadro 6 e no Quadro 7:

Quadro 6 – Classificação das barragens brasileiras por Categoria de Risco (CRI)

(Continua)

<p>CRI:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alto • Médio • Baixo 	<p>Em função de:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Características técnicas; – Métodos construtivos; – Estado de conservação; – Idade do empreendimento; – Atendimento ao plano de segurança da barragem; – Outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador.
<p>Classificadas de acordo com aspectos da própria barragem que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta três critérios gerais:</p> <p>a) Características técnicas: altura do barramento; comprimento do coroamento; tipo de barragem quanto ao material de construção; tipo de fundação; idade da barragem e tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro.</p> <p>b) Estado de conservação da barragem: confiabilidade das estruturas extravasoras;</p>	

(Continuação)
<p>confiabilidade das estruturas de captação; eclusa; percolação; deformações e recalques e deterioração dos taludes.</p> <p>c) Plano de Segurança da Barragem: existência de documentação de projeto; estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem; procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento; regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.</p>

Fonte: Adaptado da Lei 12.334/2010, atualizada pela Lei 14.066/2020 e Resolução CNRH nº 143 de 10/07/2012.

Quadro 7 – Classificação das barragens brasileiras por Dano Potencial Associado (DPA)

<p>DPA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alto • Médio • Baixo 	<p>Decorrentes da ruptura da barragem, em função de:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Potencial de perdas de vidas humanas; – Impactos econômicos, sociais e ambientais.
<p>Classificadas em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem, levando-se em conta sete critérios gerais:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas; b) Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários; c) Existência de infraestrutura ou serviços; d) Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais; e) Existência de áreas protegidas definidas em legislação; f) Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados; g) Volume: para a classificação de barragens para acumulação de água, quanto ao volume de seu reservatório, considerar-se-á: <ul style="list-style-type: none"> – Pequena: reservatório com volume inferior a 5 milhões de metros cúbicos; – Média: reservatório com volume igual ou superior a 5 milhões de metros cúbicos e igual ou inferior a 75 milhões de metros cúbicos; – Grande: reservatório com volume superior a 75 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual a 200 milhões de metros cúbicos. – Muito grande: reservatório com volume superior a 200 milhões de metros cúbicos. 	

Fonte: Adaptado da Lei 12.334/2010, atualizada pela Lei 14.066/2020 e Resolução CNRH nº 143 de 10/07/2012.

Da Resolução nº 143 do CNRH, de 10 de julho de 2012, destaca-se o “Quadro para Classificação das Barragens de Acumulação de Água”, que considera

tanto para a CRI como para o DPA um somatório de pontos a partir das seguintes referências:

a) Categoria de Risco (CRI)

A CRI de uma barragem trata dos aspectos que possam influenciar na probabilidade de um acidente. A classificação se dará com base no somatório de pontos obtidos das características técnicas da barragem, do seu estado de conservação e do seu plano de segurança. Os limites de pontuação para a categoria de médio risco são de 36 (limite inferior – LI) e 59 (limite superior – LS) pontos. As categorias de risco baixo e alto são as pontuadas aquém do LI e além do LS, respectivamente, como mostrado no Quadro 8.

- Características Técnicas: seu somatório de pontos está entre 8 e 28, a depender da:
 - Altura (diferença entre a elevação nominal da crista e a elevação do ponto mais baixo da fundação - Critério do Registro Mundial de Barragens, do ICOLD): variando de 0 a 3 pontos. Quanto mais alta, mais pontos.
 - Comprimento: variando de 2 a 3 pontos. Quanto mais comprida, mais pontos.
 - Material de Construção: variando de 1 a 3 pontos. Quanto menos resistente, mais pontos.
 - Tipo de fundação: variando de 1 a 5 pontos. Quanto menos resistente, mais pontos.
 - Idade da barragem: variando de 1 a 4 pontos. Quanto mais nova, mais pontos.
 - Vazão de projeto: variando de 3 a 10 pontos, em função da Cheia Máxima Provável (CMP). Quanto mais provável a CMP, mais pontos.
- Estado de Conservação: seu somatório de pontos está entre 0 e 43 ⁽³⁾, a depender da:
 - Confiabilidade das estruturas extravasoras: variando de 0 a 10 pontos. Quanto mais condições físicas que prejudiquem a extravasão, mais pontos.
 - Confiabilidade das estruturas de adução: variando de 0 a 6 pontos. Quanto mais condições físicas que prejudiquem a capacidade de vazão, mais pontos.
 - Percolação: variando de 0 a 8 pontos. Quanto menos controlada, mais pontos.

- Deformações e Recalques: variando de 0 a 8 pontos. Quanto mais afetada por, mais pontos.
 - Deterioração dos taludes: variando de 0 a 7 pontos. Quanto mais afetados, mais pontos.
 - Eclusa: variando de 0 a 4 pontos. Quanto menos íntegra, mais pontos.
- Plano de Segurança de Barragens: seu somatório de pontos está entre 0 e 33, a depender da:
- Existência de documentação de projeto: variando de 0 a 8 pontos. Quanto menos documentação de projeto, mais pontos.
 - Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem: variando de 0 a 8 pontos. Quanto menos estruturado, mais pontos.
 - Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento: variando de 0 a 6 pontos. Quanto menos possuir e aplicar, mais pontos.
 - Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem: variando de 0 a 6 pontos. Não possuindo, mais pontos.
 - Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação: variando de 0 a 5 pontos. Quanto menos sistematizados, mais pontos.

b) Dano Potencial Associado (DPA)

O DPA de uma barragem representa a severidade das consequências de um acidente. A classificação se dará com base no somatório de pontos obtidos em função do volume total do reservatório, do potencial de perdas de vidas humanas, do impacto ambiental e do impacto socioeconômico. Os limites de pontuação para o DPA médio são de 11 (LI) e 15 (LS) pontos. As classificações de DPA baixo e alto são as pontuadas aquém do LI e além do LS, respectivamente, como mostrado no Quadro 8.

- Volume total do reservatório: variando de 1 a 5 pontos. Quanto maior o volume, mais pontos.
- Potencial de perdas de vidas humanas: variando de 0 a 12 pontos. Quanto mais pessoas potencialmente afetadas, mais pontos.

⁽³⁾ Pontuação maior ou igual a 8 em qualquer item de Estado de Conservação implica automaticamente “CRI alta”.

- Impacto ambiental: variando de 1 a 3 pontos. Quanto mais significativo, mais pontos.
- Impacto socioeconômico: variando de 0 a 8 pontos. Quanto mais alto, mais pontos.

Quadro 8 – Classificação em função da pontuação acumulada

	Baixo	Médio	Alto
CRI	35 ou menor	36 a 59	60 ou maior
DPA	10 ou menor	11 a 15	16 ou maior

Fonte: O autor, 2023.

Analisando os parâmetros para a classificação da CRI e do DPA, é possível concluir o quão importante é o projeto de uma barragem, pois ele afeta praticamente todos os parâmetros, por exemplo: as dimensões da barragem; o tipo de material de construção da barragem; o tipo de fundação; a vazão de projeto; a existência de fontes de suprimento de energia de emergência para as estruturas hidroeletrônicas; a especificação de equipamentos com confiabilidade adequada; a aderência da construção ao projeto, a qualidade dos materiais aplicados de modo a minimizar a probabilidade de percolação e deformações na barragem, bem como a deterioração dos taludes; a existência ou não de eclusa e, não menos importante, a documentação completa, atualizada e rastreável para todas as fases de projeto da barragem.

Cabe ao órgão fiscalizador em, no máximo, a cada cinco anos reavaliar a classificação de uma barragem, se assim considerar necessário.

1.10.1.1 Distribuição de barragens de contenção de água de CRI alta no Brasil

Como abordado no item 1.1, cerca de 96% das barragens cadastradas no Brasil são de contenção de água, das quais 66% não estão classificadas segundo as CRI apresentadas no Quadro 6. A Tabela 5, construída a partir de dados do SNISB (dados de 04/07/2022), mostra a quantidade de barragens de contenção de água distribuídas por categorias de risco.

Tabela 5 – Distribuição de barragens de contenção de água por CRI

Uso Principal	CRI Alto		CRI Médio		CRI Baixo		(*) Não Aplicável		Não Classificado		Total	
	Qt	%	Qt	%	Qt	%	Qt	%	Qt	%	Qt	%
	Abastecimento humano	622	2,81	383	1,73	160	0,72	118	0,53	549	2,48	1.832
Aquicultura	122	0,55	289	1,30	64	0,29	72	0,32	873	3,94	1.420	6,41
Combate às secas	34	0,15	6	0,03	0	0,00	0	0,00	6	0,03	46	0,21
Defesa contra inundação	10	0,05	9	0,04	6	0,03	1	0,00	5	0,02	31	0,14
Dessedentação Animal	225	1,02	377	1,70	43	0,19	304	1,37	3.889	17,55	4.838	21,84
Hidroelétrica	315	1,42	95	0,43	893	4,03	0	0,00	0	0,00	1.303	5,88
Industrial	76	0,34	38	0,17	47	0,21	8	0,04	363	1,64	532	2,40
Irrigação	604	2,73	624	2,82	171	0,77	214	0,97	7.293	32,92	8.906	40,20
Navegação	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,00	1	0,00	2	0,01
Paisagismo	35	0,16	29	0,13	6	0,03	1	0,00	144	0,65	215	0,97
Recreação	103	0,46	115	0,52	13	0,06	8	0,04	240	1,08	479	2,16
Regularização de vazão	309	1,39	184	0,83	103	0,46	801	3,62	1.155	5,21	2.552	11,52
Total	2.455	11,08	2149	9,70	1.506	6,80	1.528	6,90	14.518	65,53	22.156	100,0

(*) Consideradas “não aplicável” as barragens para as quais a PNSB não se aplica, conforme os critérios apresentados no Quadro 4 – Aplicação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

Fonte: O autor, com base nos dados de 04/07/2022 do SNISB.

Destaca-se dentre as barragens de contenção de água, de acordo com a Tabela 5, que aproximadamente:

- Uma em cada dez destas barragens são categorizadas como de risco alto;
- Dentre as de CRI alto, seis em cada dez tem como uso principal o abastecimento humano e a irrigação;
- Uma em cada duas barragens para abastecimento humano categorizadas são de risco alto. 30% destas barragens não estão categorizadas;
- Duas em cada cinco barragens para irrigação categorizadas são de risco alto. 81% destas barragens não estão categorizadas.
- Todas as barragens para uso hidroelétrico, e apenas estas, estão 100% classificadas.

1.10.1.2 Distribuição de barragens de contenção de água com DPA alto no Brasil

Como abordado no item 1.1, cerca de 96% das barragens cadastradas no Brasil são de contenção de água, das quais 60% não estão classificadas segundo o DPA apresentados no Quadro 7. A Tabela 6, construída a partir de dados do SNISB (dados de 04/07/2022), mostra a quantidade de barragens de contenção de água distribuídas por dano potencial associado.

Tabela 6 – Distribuição de barragens de contenção de água por DPA

Uso Principal	DPA Alto		DPA Médio		DPA Baixo		Não Classificado		Total	
	Qt	%	Qt	%	Qt	%	Qt	%	Qt	%
Abastecimento humano	971	4,38	125	0,56	256	1,16	480	2,17	1.832	8,27
Aquicultura	114	0,51	85	0,38	420	1,90	801	3,62	1.420	6,41
Combate às secas	29	0,13	6	0,03	5	0,02	6	0,03	46	0,21
Defesa contra inundações	24	0,11	2	0,01	3	0,01	2	0,01	31	0,14
Dessedentação Animal	170	0,77	58	0,26	788	3,56	3822	17,25	4838	21,84
Hidroelétrica	588	2,65	94	0,42	621	2,80	0	0,00	1303	5,88
Industrial	78	0,35	28	0,13	90	0,41	336	1,52	532	2,40
Irrigação	1136	5,13	408	1,84	1125	5,08	6237	28,15	8906	40,20
Navegação	0	0,00	0	0,00	1	0,00	1	0,00	2	0,01
Paisagismo	9	0,04	10	0,05	53	0,24	143	0,65	215	0,97
Recreação	87	0,39	50	0,23	105	0,47	237	1,07	479	2,16
Regularização de vazão	236	1,07	70	0,32	984	4,44	1262	5,70	2552	11,52
Total	3442	15,54	936	4,22	4451	20,09	13327	60,15	22156	100,00

Fonte: O autor, com base nos dados de 04/07/2022 do SNISB.

Destaca-se dentre as barragens de contenção de água, de acordo com a Tabela 6, que:

- Uma em cada seis destas barragens são classificadas como de DPA alto;
- Dentre as de categoria de DPA alto, uma em cada duas tem como uso principal o abastecimento humano e a irrigação;
- Sete em cada dez barragens para abastecimento humano classificadas são de DPA alto. 36% destas barragens não estão classificadas quanto ao DPA;

- d) Duas em cada cinco barragens para irrigação classificadas são de DPA alto. 40% destas barragens não estão classificadas quanto ao DPA;
- e) Todas as barragens para uso hidroelétrico, e apenas estas, estão 100% classificadas;

Comparando os destaques da Tabela 5 e da Tabela 6, percebe-se que:

- a) As barragens para abastecimento humano e irrigação são as mais frequentes tanto para a CRI ALTA quanto para o DPA ALTO;
- b) Três em cada cinco barragens de contenção de água não são classificadas nem por CRI, nem por DPA;
- c) Apenas as barragens para uso hidroelétrico estão 100% classificadas, seja para CRI ou para DPA.

1.10.2 Classificação de barragens no Brasil

Com a determinação do DPA e da CRI, as barragens são classificadas a partir de uma matriz apresentada no Quadro 9, elaborada com base na Resolução ANA n.º 236, de 30 de janeiro de 2017, alterada pela Resolução ANA n.º 121 de 09/05/2022.

Quadro 9 – Matriz de classificação das barragens

		DPA		
		ALTO	MÉDIO	BAIXO
CRI	ALTO	A	B	C
	MÉDIO	A	B	D
	BAIXO	A	B	D

Fonte: Adaptado da Resolução ANA n.º 236, de 30 de janeiro de 2017, alterada pela Resolução ANA n.º 121 de 09/05/2022.

Esta Matriz de Classificação objetiva estabelecer a necessidade de elaboração e a periodicidade de instrumentos da PNSB mostrados no Quadro 10.

Quadro 10 – Requisitos e frequências de revisão e inspeções de segurança

	CLASSE			
	A	B	C	D
PAE	Requerido	Requerido	Não requerido	Não requerido
ISR	Mínimo anual	Mínimo anual	Mínimo anual	Bienal
ISE	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido apenas em situações especiais dadas pela Resolução ANA n.º 236, de 30 de janeiro de 2017, alterada pela Resolução ANA 121 de 09/05/2022.
RPSB	A cada 5 anos	A cada 7 anos	A cada 10 anos	A cada 12 anos

PAE: Plano de Ação de Emergência: documento formal elaborado pelo empreendedor, no qual estão identificadas as emergências em potencial da barragem, estabelecidas as ações a serem executadas nesses casos e definidos os agentes a serem notificados, com o objetivo de minimizar danos e perdas de vida.

ISR: Inspeções de Segurança Regular: atividade sob responsabilidade do empreendedor que visa a identificar e a avaliar anomalias que afetem potencialmente as condições de segurança e de operação da barragem, bem como seu estado de conservação.

ISE: Inspeção de Segurança Especial: atividade sob a responsabilidade do empreendedor que visa a avaliar as condições de segurança da barragem em situações específicas, devendo ser realizada por equipe multidisciplinar de especialistas nas fases de construção, operação e desativação.

RPSB: Revisão Periódica de Segurança de Barragem: estudo cujo objetivo é diagnosticar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização de dados hidrológicos, as alterações das condições a montante e a jusante do empreendimento, e indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança.

Fonte: Adaptado da Resolução ANA n.º 236, de 30 de janeiro de 2017, alterada pela Resolução ANA n.º 121 de 09/05/2022.

Preservadas as bases de projeto de uma barragem, os parâmetros que subsidiam sua classificação podem ser suscetíveis a variações, como mostrado no Quadro 11. Como a maioria deles o é, sua classificação e requisitos mostrados no Quadro 10 podem variar também.

Quadro 11 – Suscetibilidade a variações dos parâmetros para a classificação das barragens

		Permanente	Variável
DPA	Volume total do reservatório	x	
	Potencial de perdas de vidas humanas		x
	Impacto ambiental		x
	Impacto socioeconômico		x
CRI	Altura	x	
	Comprimento	x	
	Material de Construção	x	
	Tipo de fundação	x	
	Idade da barragem		x
	Vazão de projeto	x	
	Confiabilidade das estruturas extravasoras		x
	Confiabilidade das estruturas de adução		x
	Percolação		x
	Deformações e Recalques		x
	Deterioração dos taludes		x
	Existência de documentação de projeto		x
	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem		x
	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento		x
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem		x	
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação		x	

Fonte: Adaptado da Resolução ANA n.º 236, de 30 de janeiro de 2017, alterada pela Resolução ANA n.º 121 de 09/05/2022.

Adicionalmente, como resultado das inspeções regulares, as barragens podem apresentar anomalias que, a depender de seu Nível de Perigo (NPA)⁽⁴⁾, têm potencial de afetar a sua segurança tanto a curto como a longo prazo. Desta forma, atribui-se à barragem inspecionada um determinado Nível de Perigo Global (NPGB), entre os mostrados no Quadro 12.

⁽⁴⁾ Baseada nas definições da Resolução ANA nº 236/2022, alterada pela Resolução ANA 121/2022.

Anomalia: qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa afetar a segurança da barragem.

Nível de Perigo da Anomalia (NPA): gradação dada a cada anomalia em função do seu efeito individual no comprometimento à segurança da barragem.

Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB): gradação dada à barragem em função do comprometimento de sua segurança decorrente do efeito conjugado das anomalias.

Quadro 12 – Tipos de Nível de Perigo de Anomalia (NPA) e Nível de Perigo Global de uma Barragem (NPGB)

	NPA	NPGB
Normal	Quando determinada anomalia não compromete a segurança da barragem	Quando o efeito conjugado das anomalias não compromete a segurança da barragem
Atenção	Quando determinada anomalia não compromete de imediato a segurança da barragem, mas, caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser monitorada, controlada ou reparada	Quando o efeito conjugado das anomalias não compromete de imediato a segurança da barragem, mas caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser monitorada, controlada ou reparada
Alerta	Quando determinada anomalia compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para a sua eliminação	Quando o efeito conjugado das anomalias compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para eliminá-las
Emergência	Quando determinada anomalia acarreta alta probabilidade de ocorrência de acidente ou desastre	Quando o efeito conjugado das anomalias acarreta alta probabilidade de ocorrência de acidente ou desastre

Fonte: Adaptado da Resolução ANA n.º 236, de 30 de janeiro de 2017, alterada pela Resolução ANA n.º 121 de 09/05/2022.

Para as barragens de classes A e B (Quadro 9), há que considerar também o Nível de Resposta (NR) entre os mostrados no Quadro 13, que representam a gradação dada no âmbito do PAE às situações que possam resultar acidente ou desastre ⁽⁵⁾, e assim comprometer a ocupação na área afetada.

Quadro 13 – Níveis de Resposta (NR) no âmbito do Plano de Atendimento a Emergência (PAE)

	Definição
NR 0	Quando a situação encontrada ou a ação de eventos externos à barragem não compromete a sua segurança , mas deve ser monitorada, controlada ou reparada ao longo do tempo
NR 1	Quando a situação encontrada ou a ação de eventos externos à barragem não compromete a sua segurança no curto prazo , mas deve ser controlada, monitorada ou reparada
NR 2	Quando a situação encontrada ou a ação de eventos externos à barragem represente ameaça à segurança da barragem no curto prazo , devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema
NR 3	Quando a situação encontrada ou a ação de eventos externos à barragem acarreta alta probabilidade de acidente ou desastre ⁽⁵⁾ , devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos decorrentes do colapso da barragem

Fonte: Adaptado da Resolução ANA n.º 236, de 30 de janeiro de 2017, alterada pela Resolução ANA n.º 121 de 09/05/2022.

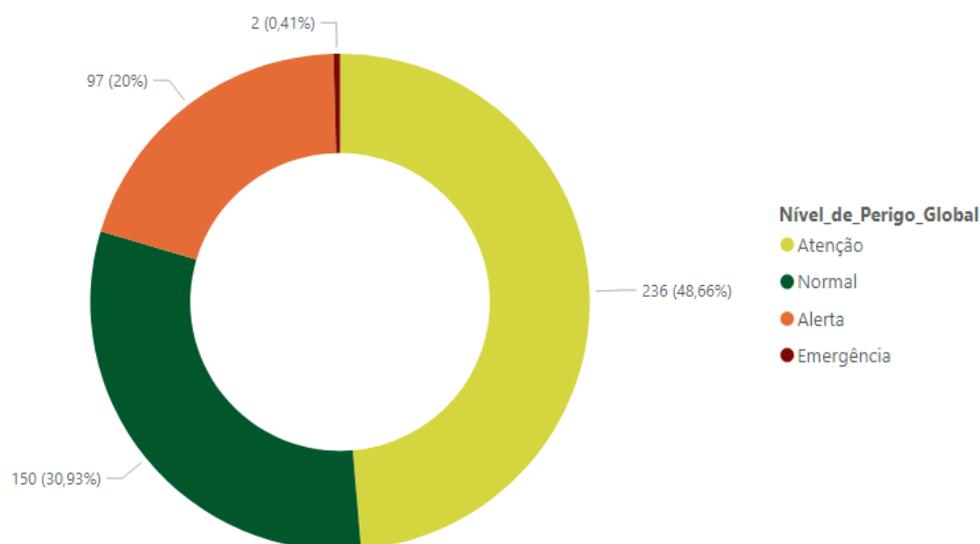
⁽⁵⁾ Definição de acidente e desastre segundo a PNSB:

Acidente: comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo do reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa.

Desastre: resultado de evento adverso, de origem natural ou induzido pela ação humana, sobre ecossistemas e populações vulneráveis, que causa significativos danos humanos, materiais ou ambientais e prejuízos econômicos e sociais.

Considerando os dados extraídos do SNISB em 04/07/2022, das 22.156 barragens de contenção de água cadastradas e mostradas na Tabela 5 e na Tabela 6, 4.604 são de classes A ou B, e que conforme mostrado no Quadro 10, requerem PAE. Destas, apenas 10% possuem classificação quanto ao Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB). O Gráfico 7 mostra a distribuição destas barragens por NPGB, em que se destaca a relevância de barragens com NPGB em Atenção, Alerta e Emergência.

Gráfico 7 – Distribuição das barragens classificadas por Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB)



Fonte: SNISB em 04/07/2022.

Das 335 barragens com NPGB em Atenção, Alerta e Emergência mostradas no Gráfico 7, a Tabela 7 mostra a distribuição exclusivamente para as de CRI e DPA altos.

Tabela 7 – Distribuição do NPGB das Barragens com CRI e DPA Altos

NPGB	Total de barragens com CRI e DPA ALTOS
Atenção	76
Alerta	58
Emergência	2
	136

Fonte: Adaptado do SNISB, dados de 04/07/2022.

Analisando estas 136 barragens, a Tabela 8 mostra a distribuição delas por seus usos principais, órgãos fiscalizadores e UF. Percebe-se que 97% situam-se na região nordeste, em especial no estado de Pernambuco, sendo 79% delas para abastecimento humano e irrigação.

Tabela 8 – Distribuição das barragens de CRI e DPA Altos e com NPGB em Atenção, Alerta e Emergência por seus usos, Órgão de Fiscalização e Unidades Federativas (UF)

(Continua)

Qt	NPGB	Uso Principal	Órgão Fiscalizador	UF
38	Alerta	Abastecimento humano	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	PE
29	Atenção	Abastecimento humano	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	PE
9	Atenção	Irrigação	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA	BA
7	Atenção	Combate às secas	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	PE
7	Atenção	Irrigação	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	PE
5	Alerta	Regularização de vazão	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	PE
5	Atenção	Regularização de vazão	Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE	SP
4	Alerta	Abastecimento humano	ANA	PE
4	Atenção	Abastecimento humano	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA	BA
3	Alerta	Irrigação	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	PE
3	Atenção	Abastecimento humano	ANA	PB
3	Atenção	Abastecimento humano	ANA	PE
2	Alerta	Regularização de vazão	Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE	SP
2	Atenção	Regularização de vazão	Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC	PE
1	Alerta	Abastecimento humano	ANA	CE
1	Alerta	Abastecimento humano	ANA	PB
1	Alerta	Abastecimento humano	ANA	RN
1	Alerta	Abastecimento humano	Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE	SP

(Continuação)

Qt	NPGB	Uso Principal	Órgão Fiscalizador	UF
1	Alerta	Combate às secas	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	PE
1	Alerta	Irrigação	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA	BA
1	Atenção	Abastecimento humano	ANA	BA
1	Atenção	Combate às secas	ANA	PB
1	Atenção	Dessedentação Animal	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA	BA
1	Atenção	Industrial	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA	BA
1	Atenção	Irrigação	ANA	GO
1	Atenção	Recreação	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA	BA
1	Atenção	Regularização de vazão	ANA	RN
1	Emergência	Abastecimento humano	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	PE
1	Emergência	Regularização de vazão	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	PE
136				

Fonte: Adaptado do SNISB, dados de 04/07/2022.

1.10.2.1 Os Marcos regulatórios estaduais no Brasil

Como abordado no item 1.7, a PNSB atribui a classificação das barragens aos agentes fiscalizadores por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Assim, como muitos dos agentes são estaduais, as UF brasileiras emitiram diplomas legais para tal finalidade. O Quadro 14 apresenta os marcos regulatórios atuais para cada Estado.

Quadro 14 – Marcos regulatórios para a classificação das barragens estaduais

Estados	Classificação
Acre - AC	Portaria Normativa IMAC nº 220, de 21/12/2022
Alagoas - AL	Portaria SEMARH nº 492, de 03/09/2015
Amapá - AP	Portaria IMAP nº 435, de 19/12/2018
Amazonas - AM	Portaria Normativa IPAAM nº 139, de 03/12/2018
Bahia – BA	Portaria INEMA nº 16.481, de 11/07/2018
Ceará - CE	Portaria SRH nº 2.747, de 19/12/2017, alterada pela Portaria SRH nº 101, de 14/01/2020
Distrito Federal - DF	Resolução ADASA nº 10, de 03/06/2020
Espírito Santo - ES	Resolução AGERH nº 72, de 19/12/2018
Goiás - GO	Instrução Normativa SEMAD nº 01, de 28/04/2020.
Maranhão - MA	Portaria SEMA nº 132, de 27/12/2017
Mato Grosso - MT	Resolução CEHIDRO nº 163, de 11/05/2023
Mato Grosso do Sul - MS	Resolução SEMAGRO nº 757, de 03/08/2021.
Minas Gerais - MG	Portaria IGAM nº 08, de 17/03/2023
Pará - PA	Instrução Normativa SEMAS nº 2, de 06/02/2018
Paraíba - PB	Resolução AESA nº 4, de 25/11/2016
Paraná - PR	Portaria AGUASPARANA nº 46, de 27/11/2018
Pernambuco - PE	Resolução APAC nº 3, de 28/12/2017
Piauí - PI	Instrução Normativa SEMAR nº 4, de 23/12/2019
Rio de Janeiro - RJ	Resolução INEA nº 165, de 26/12/2018
Rio Grande do Norte - RN	Portaria IGARN nº 10, de 16/11/2017
Rio Grande do Sul - RS	Portaria SEMA nº 136, de 29/12/2017
Rondônia - RO	Portaria SEDAM nº 539, de 09/12/2022
Roraima - RR	Instrução Normativa FEMARH/PRES nº 03, de 02/02/2022
Santa Catarina - SC	Portaria SDE nº 448, de 10/12/2019
São Paulo - SP	Portaria DAEE nº 3.318, de 30/05/2022
Sergipe - SE	Portaria SEMARH nº 21, de 16/11/2015
Tocantins - TO	Portaria NATURATINS nº 483, de 18/12/2017

Fonte: O autor, 2023.

Embora todos os marcos legais se baseiem nos critérios gerais do CNRH, há diferenças entre eles. Após análise de cada marco legal mostrados no Quadro 14, foi construída a Figura 7 para mostrar a existência de dez matrizes estaduais diferentes para classificação de barragens de acúmulo de água, sendo a Matriz 10 exatamente a mesma estabelecida pela Resolução nº 236/2017 da ANA, que

estabelece a periodicidade de execução ou atualização; a qualificação dos responsáveis técnicos; o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB; das ISR e ISE; da RPSB e do PAE, conforme a PNSB.

Figura 7 – Matrizes estaduais brasileiras para classificação de barragens de contenção de água

Matriz 1	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	D
Baixo	A	D	D

Matriz 2	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	D
Baixo	B	D	E

Matriz 3	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	D
Baixo	A	C	E

Matriz 4	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	B	C
Baixo	A	B	C

Matriz 5	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	D
Médio	A	C	D
Baixo	A	C	D

Matriz 6	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	C
Baixo	A	C	D

Matriz 7	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	D
Baixo	A	C	D

Matriz 8	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	A	B
Médio	A	B	C
Baixo	A	B	C

Matriz 9	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	A	B
Médio	B	B	C
Baixo	C	C	D

Matriz 10	DPA		
CRI	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	B	D
Baixo	A	B	D

Fonte: O autor, 2023.

O Quadro 15 correlaciona os Estados com as matrizes da Figura 7, onde se observa que apenas um deles (Rondônia) tem sua matriz alinhada integralmente à estabelecida pela Resolução nº 236/2017 da ANA, atualizada em maio de 2022.

Quadro 15 – Correlação dos Estados com as diferentes matrizes de classificação

Matriz	Estados	Frequência	%
1	AP, CE, DF, ES, GO, MA, MS, MT, MG, PE, PI, RN, SE, TO	14	51%
2	AC, AM	2	7%
3	AL, PA, PB	3	11%
4	BA	1	4%
5	PR	1	4%
6	RJ	1	4%
7	RS, SC	2	7%
8	RR	1	4%
9	SP	1	4%
10	RO	1	4%
		27	100%

Fonte: O autor, 2023.

O Quadro 16 resume as classificações estaduais, apresentando os Estados que possuem classificação menos conservadora do que a estabelecida pela Resolução nº 236/2017 da ANA (Matriz 10). Os resultados apresentados demonstram que as classificações estaduais nem sempre são idênticas ou mais conservadoras do que a estabelecida pela Resolução nº 236/2017 da ANA.

Quadro 16 – Resumo das classificações estaduais

Matriz 1	DPA		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A para todos os Estados	B ou mais conservador para todos os Estados	C ou mais conservador para todos os Estados, exceto PR (D)
Médio	A para todos os Estados, exceto SP (B)	C ou mais conservador para BA, RR, SP, RO	D ou mais conservador para todos os Estados
Baixo	A para todos os Estados, exceto AC e AM (B) e SP (C)	D, C ou mais conservador para BA, RR, RO	D ou mais conservador para todos os Estados, exceto AC, AM, AL, PA, PB (E)

Fonte: O autor, 2023.

Embora a PNSB atribua a cada UF a edição de regulamentos próprios sobre segurança de barragens e a classificação das suas barragens, não é conveniente haver legislação estadual menos restritiva que as referências legais e regulamentares federais.

Em resumo, as barragens de contenção de água no Brasil são classificadas como mostrado no Quadro 17.

Quadro 17 – Resumo das classificações de barragem de água no Brasil

- Categoria de Risco (CRI): Alto, Médio ou Baixo (Quadro 6 e Figura 7)
- Dano Potencial Associado (DPA): Alto, Médio ou Baixo (Quadro 7 e Figura 7)
- Classe: A, B, C, D ou E (Quadro 9 e Figura 7)
- Nível de Perigo Global da Barragem (NPGGB): Normal, Atenção, Alerta ou Emergência (Quadro 12)
- Níveis de Resposta (NR) no âmbito do Plano de Ação de Emergência (PAE): NR 0, 1, 2 ou 3 (Quadro 13)

Fonte: O autor, 2023.

1.10.3 Completeness de informações para a fiscalização de barragens de contenção de água no Brasil

No Brasil, a ANA monitora anualmente o Indicador de Completeness da Informação (ICI), que atribui cinco faixas de completeness a depender das seguintes informações prestadas sobre as barragens:

- a) Completeness Mínima: nome, UF, município e uso principal;
- b) Completeness Baixa: altura, capacidade e empreendedor;
- c) Completeness Média: autorização;
- d) Completeness Boa: se sujeitas à PNSB, o DPA e a CRI;
- e) Completeness Ótima:
 - Para as sujeitas à PNSB: inspeção regular, revisão periódica e, quando aplicável, o PAE;
 - Para as não sujeitas à PNSB: a classificação do DPA.

A Tabela 9, construída a partir dos Relatórios Anuais de Segurança de Barragens da ANA, apresenta a evolução do ICI dos dois relatórios mais recentes publicados, 2019 e 2020.

Tabela 9 – Indicador de Completeness da Informação (ICI) de 2019 a 2020

Ano/ Completeness	Mínima	Baixa	Média	Boa	Ótima
2019	67%	7%	8%	12%	6%
2020	65%	9%	6%	10%	10%

Fonte: Adaptada do Relatórios Anuais de Segurança de Barragens de 2019 e 2020.

A versão 2020 do RSB da ANA aponta tendência de crescimento no número de barragens classificadas anualmente, porém, considera que ainda está aquém do

esperado, pois a continuar nesse ritmo, a classificação estará completa somente em 2031.

Considerando as barragens que possuem CRI e DPA altos, o SNISB (dados de 04/07/2022) registra 363 barragens com completude mínima. A Tabela 10 as apresenta por uso principal das barragens nos Estados brasileiros, onde se percebe que praticamente todas elas estão localizadas nas regiões Nordeste e Norte do Brasil, sendo a metade delas para abastecimento humano.

Tabela 10 – Distribuição das barragens de contenção de água de CRI e DPA altos e completude mínima de informações por uso principal e UF

(Continua)

Uso Principal	Quantidade	Percentual	UF
Abastecimento humano	86	23,7%	RN
Dessedentação Animal	61	16,8%	RN
Abastecimento humano	51	14,1%	PB
Abastecimento humano	28	7,7%	BA
Aquicultura	25	6,9%	PA
Irrigação	19	5,2%	PB
Regularização de vazão	13	3,6%	PB
Irrigação	11	3,0%	BA
Irrigação	9	2,5%	PA
Regularização de vazão	7	1,9%	BA
Regularização de vazão	7	1,9%	SP
Regularização de vazão	5	1,4%	PA
Aquicultura	4	1,1%	RN
Industrial	4	1,1%	PA
Irrigação	4	1,1%	RN
Recreação	4	1,1%	PR
Abastecimento humano	3	0,8%	PE
Recreação	3	0,8%	BA
Recreação	3	0,8%	PA
Regularização de vazão	3	0,8%	PE
Recreação	2	0,6%	SP
Regularização de vazão	2	0,6%	PI
Abastecimento humano	1	0,3%	GO
Abastecimento humano	1	0,3%	MT
Abastecimento humano	1	0,3%	RR

(Continuação)

Uso Principal	Quantidade	Percentual	UF
Abastecimento humano	1	0,3%	SP
Defesa contra inundações	1	0,3%	SP
Dessedentação Animal	1	0,3%	BA
Dessedentação Animal	1	0,3%	PA
Recreação	1	0,3%	AP
Regularização de vazão	1	0,3%	CE
	363	100,0%	

Fonte: SNISB, dados de 04/07/2022.

1.10.3.1 Dificuldades na obtenção de informações básicas das barragens fiscalizáveis no Brasil

As empresas têm deveres em relação às partes interessadas, incluindo a responsabilidade por informações transparentes. Da mesma forma, as partes interessadas têm o direito de receber informações corretas para tomar uma decisão sobre uma organização, produto ou serviço (MATTOS, U. A. O., 2021).

O APÊNDICE B apresenta as dificuldades, dezesseis ao todo, reportadas pelos órgãos fiscalizadores brasileiros no RSB da ANA, versão 2020, distribuídas entre trinta Órgãos fiscalizadores brasileiros.

Percebe-se que as dificuldades relacionadas abaixo foram as mais frequentes, sendo reportadas ao menos uma delas por 80% do total de órgãos fiscalizadores:

- a) Projetos inexistentes das barragens;
- b) Carência de efetivo técnico especializado em segurança de barragens.
- c) Falta de informações técnicas das barragens pelo empreendedor.

Considerando apenas os órgãos fiscalizadores que reportaram simultaneamente as três dificuldades mencionadas acima, estão:

- a) Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) – PE
- b) Instituto de Meio Ambiente do Acre (IMAC) – AC
- c) Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) – ES
- d) Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA) – MT

TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO E DE INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES

1.11 Técnicas de análise de risco requeridas pelos órgãos fiscalizadores no Brasil para a gestão de segurança de barragens de contenção de água, por ocasião do licenciamento do empreendimento

O Licenciamento ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei no 6.938/1981) regulamentado pela Resolução CONAMA no 237/1997 (DE DEUS GROTTTO et al, 2021). A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependem de prévio licenciamento ambiental.

Os empreendimentos e atividades são licenciados por um único ente federativo, podendo sua condução ser de competência da União, Estados ou Municípios. O que vai determinar em qual dessas esferas o processo de LA será realizado é a extensão do empreendimento. Assim, empreendimentos que ocupem território de mais de um estado serão de nível federal (comum em hidrelétricas, por exemplo); empreendimentos que abrangem mais de uma cidade se dará no nível estadual; empreendimentos menores que não gerem grandes impactos podem ser licenciados no nível municipal. Cada instância possui órgãos responsáveis pela organização do LA (DE DEUS GROTTTO et al, 2021).

O IBAMA é o órgão executor do licenciamento ambiental de competência da União. A Lei Complementar nº 140/11, art. 7º, inciso XIV, e o Decreto nº 8.437/15, estabelecem os critérios e tipos de atividades e de empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental no IBAMA.

Dentre as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental é de competência da União, destacam-se as usinas hidrelétricas com capacidade instalada mínima de trezentos megawatts.

De modo geral, o procedimento de licenciamento ambiental depende da obtenção de licença prévia (LP), licença de instalação (LI) e licença de operação (LO), emitidas nessa ordem, sendo que a LI ou LO são emitidas após a análise do projeto e do atendimento das condições estabelecidas na licença anterior. Após a

apresentação dos estudos, é emitida a primeira licença, a licença prévia (LP), aprovando a localização do empreendimento, atestando a sua viabilidade ambiental e estabelecendo alguns requisitos e condicionantes que deverão ser atendidos durante as próximas fases de implementação. Para a emissão da licença de instalação (LI) são analisados os planos, programas e projetos, e o cumprimento das condicionantes previamente estabelecidas, podendo ser impostas novas condições.

Na sequência, a licença de operação (LO) autoriza o funcionamento do empreendimento, desde que verificado o cumprimento das condicionantes das licenças anteriores, determinando, desde já, as regras e condições a serem observadas durante a operação (GONÇALVES et al, 2019).

O Quadro 18 apresenta as fases de licenciamento ambiental no Brasil.

Quadro 18 – Fases do licenciamento ambiental no Brasil

Licença prévia – LP	Licença de instalação - LI	Licença de operação - LO
Concedida na <u>fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção</u> , atestando a <u>viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes</u> a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação.	Autoriza a <u>instalação do empreendimento ou atividade</u> de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes.	Autoriza a <u>operação da atividade ou empreendimento</u> , com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Fonte: O autor, 2023.

A licença obtida no LA, porém, não é para sempre. Não só possui validade, devendo ser renovada de tempos em tempos mediante comprovação de adequação às normas, como também o empreendimento está sujeito a fiscalização sem aviso prévio por parte dos órgãos competentes (DE DEUS GROTTTO et al, 2021).

A Resolução 001/1986 do CONAMA instituiu a obrigatoriedade da realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de impacto ambiental (RIMA) para empreendimentos/projetos de grande impacto (FONTES et al, 2021), que são documentos de natureza técnica e instrutória no processo, que subsidiam a decisão quanto à viabilidade ambiental, instalação, ampliação, operação, recuperação e remediação ambiental, descomissionamento, entre outros.

O EIA é definido como um relatório técnico-científico composto pelos seguintes dados: diagnóstico ambiental dos meios físico, biótico e socioeconômico; análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas; definição e elaboração de medidas mitigadoras dos impactos negativos; e apresentação de programas de acompanhamento e monitoramento. Já o RIMA é um documento que resume os dados EIA e que é disponibilizado para toda a população. É por meio dele que são realizadas as audiências públicas, apresentando os dados compilados dos estudos ambientais. Além disso, é com base nas informações levantadas por esse primeiro estudo que o empreendedor apresenta o Plano Básico Ambiental (PBA), apontando programas ambientais para a mitigação dos impactos apresentados no EIA (GIONGO, 2018).

O estudo ambiental apresenta os resultados e conclusões da avaliação de impacto ambiental da atividade ou empreendimento, indicando as medidas ambientais para evitar, reduzir, recuperar e compensar os impactos negativos e potencializar os impactos positivos.

Adicionalmente, o órgão licenciador pode determinar a elaboração de outros tipos de estudo.

No Brasil, em particular no Estado de São Paulo, Estudos de Análise de Risco (EAR) passaram a ser requeridos pela CETESB para determinados tipos de empreendimentos, de forma que, além dos aspectos relacionados aos impactos ambientais e à poluição crônica, também a prevenção de acidentes maiores fosse contemplada no processo de licenciamento.

Diversos Órgãos licenciadores no Brasil se utilizam da NORMA TÉCNICA CETESB P4.261 - Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência, para demandar EAR em complemento ao Estudo de Impactos Ambientais.

O Estudo de Análise de Risco (EAR) é um estudo quantitativo de risco de um empreendimento, baseado em técnicas de identificação de perigos, estimativa de frequências e de efeitos físicos, avaliação de vulnerabilidade e na estimativa do risco (CETESB, 2011). Das técnicas de identificação de perigos propostas pela CETESB, os órgãos licenciadores requerem frequentemente a Análise Preliminar de Perigos (APP).

A APP é produzida por uma equipe multidisciplinar, em tantas sessões quantas forem necessárias, a fim de focalizar os eventos perigosos cujas falhas tenham origem na instalação em análise, contemplando tanto as falhas intrínsecas de equipamentos, de instrumentos e de materiais, como erros humanos. Na APP são identificadas os perigos, as causas e as consequências, as categorias de severidade correspondentes mostradas no Quadro 19, bem como as observações e recomendações pertinentes aos perigos identificados, sendo que os resultados são apresentados em planilha padronizada, como a indicada no Quadro 20.

Quadro 19 – Categorias de severidade da Análise Preliminar de Perigo (APP)

Categoria de severidade	Efeitos
I – Desprezível	Nenhum dano ou dano não mensurável.
II – Marginal	Danos irrelevantes ao meio ambiente e à comunidade externa.
III – Crítica	Possíveis danos ao meio ambiente, alcançando áreas externas à instalação. Pode provocar lesões de gravidade moderada na população externa ou impactos ambientais com reduzido tempo de recuperação.
IV – Catastrófica	Impactos ambientais atingindo áreas externas às instalações. Provoca mortes ou lesões graves na população externa ou impactos ao meio ambiente com tempo de recuperação elevado.

Fonte: Adaptado da Norma Técnica CETESB P4.261.

Quadro 20 – Modelo de planilha de uma Análise Preliminar de Perigo (APP)

Perigo	Causa	Efeito	Categoria de severidade	Observações e recomendações

Fonte: Adaptado da Norma Técnica CETESB P4.261.

Outras técnicas propostas pela CETESB são o Hazard and Operability Study (HazOp) e o “What If?”, resumidamente apresentadas no Quadro 21.

Quadro 21 – Apresentação resumida das técnicas HazOp e “What If?”

HazOp	What If? (E se?)
<p>HAZOP é o acrônimo para “Hazard and Operability Study”. É uma técnica para identificação de perigos projetada para estudar possíveis desvios de projeto ou na operação de uma instalação. O HazOp consiste na realização de uma revisão da instalação, a fim de identificar os perigos potenciais e/ou problemas de operabilidade, por meio de uma série de reuniões, durante as quais uma equipe multidisciplinar discute metodicamente o projeto da instalação e, sempre que possível, forneça uma solução para o tratamento do risco. O líder da equipe orienta o grupo por meio de um conjunto de palavras-guias que focalizam os desvios dos parâmetros estabelecidos para o processo ou operação em análise. IEC 61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide.</p>	<p>A técnica “What If?”, conhecida também como SWIFT (Structured What If Technique), foi originalmente desenvolvida como uma alternativa mais simples para o HAZOP. É um estudo sistemático, baseado em trabalho em equipe, que utiliza um conjunto de palavras ou frases de ‘comando’ que é usado pelo facilitador dentro de uma oficina de trabalho para estimular os participantes a identificar riscos. O facilitador e a equipe utilizam frases padrão do tipo “e se” em combinação com os comandos para investigar como um sistema, item de instalações, organização ou procedimento será afetado por desvios de comportamento e operações normais. A técnica SWIFT é normalmente aplicada mais em nível de sistemas com um nível menor de detalhes do que o HAZOP.</p>

Fonte: Adaptado da Norma Técnica CETESB P4.261 e da Norma ABNT NBR ISO/IEC 31010.

O Quadro 22 apresenta potencialidades e limitações destas três técnicas de análise de riscos.

Quadro 22 – Potencialidades e limitações das técnicas APP, HazOp e “What If?”

(Continua)

Técnicas	Potencialidades	Limitações
APP	<ul style="list-style-type: none"> • É capaz de ser utilizada quando houver pouca informação. • Permite que os riscos sejam considerados precocemente no ciclo de vida do sistema. • Envolve uma equipe multidisciplinar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fornece somente informações preliminares. • Não fornece informações detalhadas sobre os riscos e como eles podem ser mais bem evitados.
HAZOP	<ul style="list-style-type: none"> • Fornece os meios para sistemática e totalmente analisar um sistema, processo ou procedimento. • É aplicável a uma ampla gama de sistemas, processos e procedimentos. • Permite a consideração explícita das causas e consequências de erro humano. • Cria um registro escrito do processo que pode ser utilizado para demonstrar devido zelo. • Envolve uma equipe multidisciplinar. • Gera soluções e ações de tratamento de riscos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser muito demorada e, portanto, cara. • Requer um alto nível de documentação ou especificação do sistema/processo e procedimento. • Pode focar em encontrar soluções detalhadas, ao invés de questionar premissas fundamentais. • A discussão pode ser focada em questões de detalhe do projeto, e não em questões mais amplas ou externas. • É limitada pelo projeto (esboço) e o intuito do projeto, e o escopo e objetivos dados à equipe. • O processo se baseia fortemente no conhecimento especializado dos projetistas.

(Continuação)

Técnicas	Potencialidades	Limitações
WHAT IF?	<ul style="list-style-type: none"> • É amplamente aplicável a todas as formas de instalação física, sistema, situação ou circunstância, organização ou atividade. • Necessita preparo mínimo pela equipe. • É relativamente rápida e os principais perigos e riscos rapidamente tornam-se evidentes na sessão da oficina de trabalho. • O estudo é “orientado a sistemas” e permite que os participantes vejam a resposta do sistema a desvios ao invés de apenas examinar as consequências de falhas de componentes. • O envolvimento na oficina de trabalho por aqueles que são responsáveis pelos controles existentes e pelas ações de tratamento de riscos adicionais, reforçam a sua responsabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • É necessário um facilitador experiente e capaz para que seja eficiente. • Preparação cuidadosa é necessária para que o tempo da equipe da oficina de trabalho não seja desperdiçado. • Se a equipe da oficina de trabalho não tiver uma base suficientemente ampla de experiência ou se o sistema de instruções não for abrangente, alguns riscos ou perigos podem não ser identificados. • A aplicação da técnica em alto nível pode não revelar causas complexas, detalhadas ou correlacionadas.

Fonte: Adaptado da Norma Técnica CETESB P4.261 e da Norma ABNT NBR ISO/IEC 31010.

FONSECA, 2013 analisou a adoção de procedimentos de licenciamento ambiental para a construção de barragens no Brasil, Índia e China, países que integram o BRICS e que são grandes potências hidrelétricas. O autor analisou aspectos do licenciamento da usina hidrelétrica de Belo Monte, no Brasil; do complexo hidrelétrico do rio Nu, na China; e da barragem de Sardar Sarovar, na Índia em razão de seus grandes potenciais hidrelétricos e por seus impactos socioambientais.

O governo chinês adotou, em 2003, um processo formal de avaliação ambiental: o *Environmental Impact Assesment* – Estudo de Impacto Ambiental (EIA). O *Nu River Project* foi o primeiro projeto a ser submetido a essa inovação na legislação ambiental, mas como o rio Nu é um rio internacional, os planos de desenvolvimento para a região correram em segredo de Estado, incluindo o EIA, que nunca foi publicado (FONSECA, 2013).

Em uma rápida comparação, a política ambiental indiana e, por consequência, os processos decisórios relacionados ao licenciamento ambiental na Índia guardam semelhanças com o caso brasileiro. Tal como no Brasil, a Índia adota um sistema federativo em que os estados possuem interesses distintos e, por vezes,

conflituosos. É também um país democrático, no qual a sociedade civil tem oportunidades para manifestação e para exercer influência no processo decisório (FONSECA, 2013).

1.12 Técnicas de investigação de acidentes requeridas pelos órgãos fiscalizadores no Brasil para a gestão de segurança de barragens de contenção de água

No Brasil, para as barragens de contenção de água fiscalizadas pela Agência Nacional de Águas – ANA, segundo sua Resolução 236/ 2017, é responsabilidade do empreendedor da barragem, por meio do Coordenador do PAE, providenciar em até 60 dias após terminada a emergência a elaboração de um Relatório de Encerramento de Emergência, contendo:

- a) Descrição detalhada do evento e possíveis causas.
- b) Relatório fotográfico.
- c) Descrição das ações realizadas durante o evento, inclusive cópia das declarações emitidas e registro dos contatos efetuados.
- d) Indicação das áreas afetadas com identificação dos níveis ou cotas altimétricas atingidas pela onda de cheia, quando couber.
- e) Consequências do evento, inclusive danos materiais à vida e à propriedade.
- f) Proposições de melhorias para revisão do PAE.
- g) Conclusões sobre o evento.
- h) Ciência do responsável legal pelo empreendimento.

O Coordenador do PAE é o responsável por coordenar as ações descritas no PAE, podendo ser o próprio empreendedor ou pessoa por ele designada. Considera-se emergência quando determinada anomalia representa alta probabilidade de ruptura da barragem.

Para as barragens de contenção de água fiscalizadas pelos Órgãos Ambientais Estaduais, os diplomas legais abaixo no Quadro 23 reproduzem os mesmos requisitos da ANA para o conteúdo mínimo do Relatório de Encerramento de Emergência.

Quadro 23 – Estados que requerem o mesmo conteúdo mínimo do Relatório de Encerramento de Emergência da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

Estado (UF)	Diploma legal
Santa Catarina	Portaria SDE nº 448, de 10/12/2019
Paraná	Portaria AGUASPARANA nº 46, de 27/11/2018
Rio de Janeiro	Resolução INEA nº 165, de 26/12/2018
Minas Gerais	Portaria IGAM nº 08, de 17/03/2023
Goiás	Instrução Normativa SEMAD nº 1, de 28/04/2020
Mato Grosso	Resolução CEHIDRO nº 163, de 11/05/2023
Mato Grosso do Sul	Portaria IMASUL nº 576, de 22/12/2017
Sergipe	Portaria SEMARH nº 58, de 18/12/2017
Pernambuco	Resolução APAC nº 3, de 28/12/2017
Rio Grande do Norte	Portaria IGARN nº 10, de 16/11/2017
Ceará	Instrução Normativa SRH nº 01, de 09/03/2022
Piauí	Instrução Normativa SEMAR nº 4, de 23/12/2019
Maranhão	Portaria SEMA nº 132, de 27/12/2017
Tocantins	Portaria NATURATINS nº 483, de 18/12/2017
Amapá	Portaria IMAP nº 435, de 19/12/2018
Amazonas	Portaria Normativa IPAAM nº 139, de 03/12/2018
Acre	Portaria Normativa IMAC nº 220, de 21/12/2022
Rondônia	Portaria SEDAM nº 539, de 09/12/2022

Fonte: O autor, 2023.

Já os Estados abaixo, assim como a ANEEL, mostrados no Quadro 24, embora possuam diplomas legais que estabelecem providências relativas ao Plano de Ação Emergencial, não requerem um Relatório de Encerramento de Emergência, ou qualquer outro com os mesmos propósitos. São eles:

Quadro 24 – Estados que não requerem Relatório de Encerramento de Emergência em seus diplomas legais

(Continua)

Estado (UF)	Diploma legal
Rio Grande do Sul	Portaria SEMA nº 136, de 29/12/2017
São Paulo	Portaria DAEE nº 1.634, de 10/03/2021
Espírito Santo	Resolução AGERH nº 62, de 27/12/2017
Bahia	Portaria INEMA nº 16.481, de 11/07/2018
Alagoas	Portaria SEMARH nº 492, de 03/09/2015
Paraíba	Resolução AESA nº 4, de 25/11/2016
Pará	Instrução Normativa SEMAS nº 2, de 06/02/2018

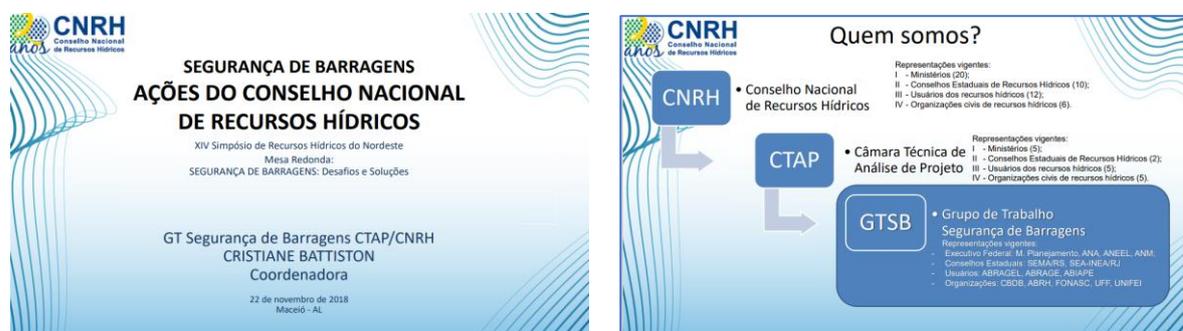
(Continuação)

Estado (UF)	Diploma legal
Roraima	Instrução Normativa FEMARH nº 1, de 13/03/2017
ANEEL	Resolução Normativa ANEEL nº 1.064, de 02/05/2023

Fonte: O autor, 2023.

O XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ocorrido em 2018 e coordenado pela Câmara Técnica de Análise de Projetos – CTAP do CNRH (Figura 8), promoveu a “Mesa Redonda SEGURANÇA DE BARRAGENS: Desafios e Soluções”, que dentre as providências decorridas designou subgrupo de estudo para “estabelecer instituição isenta e transparente para investigação de acidentes com barragens e análises integradas dos empreendimentos por bacia”, que ajudou a influenciar a atualização de 2020 da PNSB, por meio da Lei 14.066, de modo a incluir o artigo 18-C que passou a requerer que as causas de rompimento de barragem sejam objeto de laudo técnico elaborado por peritos independentes, a expensas do empreendedor, em coordenação com o órgão fiscalizador.

Figura 8 – Composição da Câmara Técnica de Análise de Projetos (CTAP) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)



Fonte: Slide 7 da apresentação da Câmara Técnica de Análise de projetos – CTAP no XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, em 2018 – Link: <<https://eventos.abrh.org.br/xivsrhne/apresentacoes/srh-nordeste.pdf>>.

Assim, percebe-se haver dois documentos que tratam das causas dos acidentes.

a) Relatório de Encerramento de Emergência

- Apresenta as “possíveis” causas.
- Elaborado pelo Coordenador do PAE.
- Responsabilidade do empreendedor da barragem.
- Requisito da Resolução 236/ 2017 da ANA e legislações estaduais.

- Até 60 dias após terminada a emergência.

b) Laudo Técnico

- Apresenta as causas.
- Elaborado por peritos independentes, em coordenação com o órgão fiscalizador.
- Custeado pelo empreendedor da barragem.
- Requisito da PNSB – Lei 12.334/ 2010, alterada pela Lei 14.066/ 2020.
- Não define prazo para sua elaboração.

Percebe-se não haver por ora requisitos legais no Brasil que requeiram a aplicação de uma técnica específica para a investigação e análise de acidentes de barragens de contenção de água, de modo que os técnicos encarregados da apuração das causas de acidentes em barragens estão livres para adotar a técnica que melhor lhes convierem.

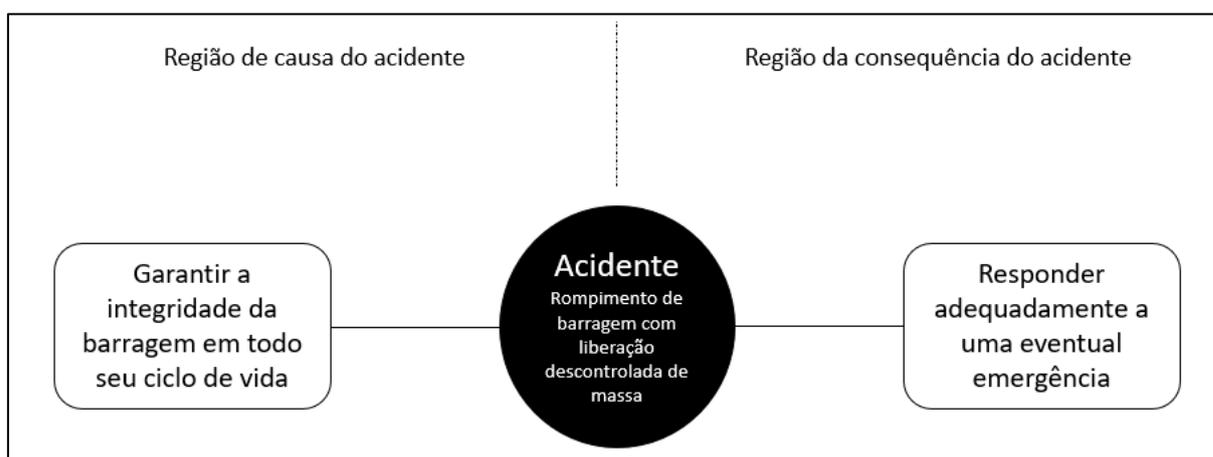
Diferentemente da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2020), a ANA não disponibiliza os relatórios de investigação de acidentes de barragens. As informações a respeito das causas e consequências nos reportes anuais de segurança de barragens da ANA são muito escassas, se parecendo notas curtas de jornal. Dado haver responsabilidades civis e criminais associadas, os empreendedores também não os disponibilizam.

AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL

1.13 Elementos de gestão

Considerando a Figura 4 – Pilares básicos da segurança de barragens, apresentada no item 1.4 desta dissertação, há dois aspectos fundamentais para a segurança de barragens: a integridade da barragem e a gestão de eventual emergência, mostrados na Figura 9.

Figura 9 – Aspectos fundamentais para a segurança de barragens



Fonte: O autor, 2023.

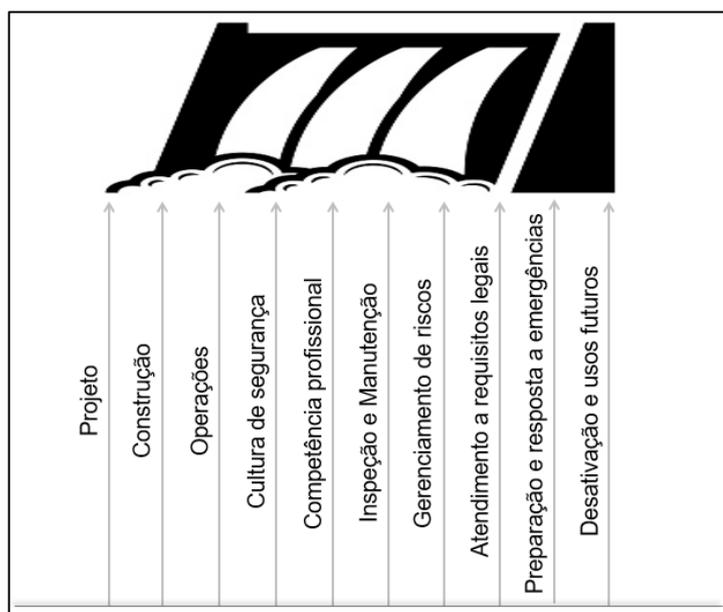
O acidente (representado ao centro) é o evento topo a ser prevenido. Na região esquerda da figura está a ação cujo sucesso minimiza a frequência de causar o evento topo, enquanto na região direita está a ação cujo sucesso neutraliza ou minimiza a escala da consequência do evento topo.

Porém, a prevenção das causas de acidentes em todo o ciclo de vida de uma barragem não se esgota na atividade de manutenção estrutural, mas sim é resultante de um sistema de gestão de segurança que leva em consideração diversos elementos estruturantes.

Com base na Gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS) do CCPS, tem-se como exemplos de elementos estruturantes: a qualidade do projeto da barragem; da sua construção; das operações dos seus sistemas; da inspeção e manutenção de estruturas e equipamentos; do gerenciamento de riscos;

do atendimento a requisitos legais; da competência dos profissionais envolvidos; da cultura de segurança; da preparação e resposta a eventuais emergências; do planejamento da sua desativação e de seus usos futuros etc., mostrados na Figura 10 a seguir.

Figura 10 – Elementos estruturantes de um sistema de gestão



Fonte: O autor, inspirado na Gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS), do CCPS.

O Quadro 25 mostra a correspondência desses elementos de gestão com alguns requisitos legais brasileiros:

Quadro 25 – Correspondência entre elementos de um sistema de gestão e requisitos da PNSB

(Continua)

Elemento de Gestão	Requisitos
Qualidade do projeto	<p>Anotação de responsabilidade técnica por profissional habilitado pelo CONFEA/ CREA.</p> <p>O Plano de Segurança da Barragem (PSB) requer dados técnicos referentes à implantação do empreendimento e do projeto como construído (as built).</p> <p>O empreendedor da barragem obriga-se a organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes ao projeto.</p>
Construção	<p>Anotação de responsabilidade técnica por profissional habilitado pelo CONFEA/ CREA.</p> <p>A ISE é aplicável à fase de construção, entre outras.</p> <p>O empreendedor da barragem obriga-se a organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes à construção.</p>

(Continuação)

Elemento de Gestão	Requisitos
Operações	<p>O PSB requer regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem.</p> <p>A RPSB deve indicar o exame dos procedimentos de operação adotados pelo empreendedor.</p> <p>O PAE deve contemplar procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento, de condições potenciais de ruptura da barragem ou de outras ocorrências anormais.</p> <p>A ISE é aplicável à fase de operação, entre outras.</p> <p>O empreendedor da barragem obriga-se a organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes à operação.</p>
Inspeção e manutenção de estruturas e equipamentos	<p>O PSB compreende, entre outros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inspeção de segurança regular; - Inspeção de segurança especial; - Revisões periódicas de segurança. <p>O PSB requer manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem.</p> <p>O empreendedor da barragem obriga-se a, entre outras:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apresentar periodicamente declaração de condição de estabilidade de barragem; - Armazenar dados de instrumentação da barragem. - Manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes à manutenção. <p>A RPSB deve indicar o exame dos procedimentos de manutenção adotados pelo empreendedor.</p>
Gerenciamento de riscos	<p>Sistema de classificação de barragens por CRI e por DPA.</p> <p>O PSB requer a identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e dos cenários possíveis de acidente ou desastre.</p> <p>O empreendedor da barragem obriga-se a organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes à segurança da barragem.</p>
Atendimento a requisitos legais	<p>O empreendedor da barragem obriga-se a permitir o acesso irrestrito do órgão fiscalizador, da autoridade licenciadora do SISNAMA, do órgão de proteção e defesa civil e dos órgãos de segurança pública ao local da barragem e das instalações associadas e à sua documentação de segurança.</p>

(Continuação)

Elemento de Gestão	Requisitos
<p>Competência dos profissionais envolvidos</p>	<p>O PSB requer estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem.</p> <p>O empreendedor da barragem obriga-se a manter serviço especializado em segurança de barragem, conforme estabelecido no Plano de Segurança da Barragem.</p> <p>Anotação de responsabilidade técnica, por profissional habilitado pelo CONFEA/ CREA, dos estudos, planos, projetos, construção, inspeção e demais relatórios.</p> <p>Os órgãos fiscalizadores devem criar sistema de credenciamento de pessoas físicas e jurídicas habilitadas a atestar a segurança da barragem, incluída a certificação, na forma do regulamento.</p> <p>O laudo técnico referente às causas de rompimento de barragem deve ser elaborado por peritos independentes, a expensas do empreendedor, em coordenação com o órgão fiscalizador.</p> <p>O PSB deve ser elaborado e assinado por responsável técnico com registro no respectivo conselho profissional.</p> <p>A ISE será elaborada, conforme orientação do órgão fiscalizador, por equipe multidisciplinar de especialistas.</p> <p>A periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão periódica de segurança serão estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da CRI e do DPA à barragem.</p>
<p>Cultura de segurança</p>	<p>O empreendedor deverá, juntamente com os órgãos locais de proteção e defesa civil, realizar, em periodicidade a ser definida pelo órgão fiscalizador, exercício prático de simulação de situação de emergência com a população da área potencialmente afetada por eventual ruptura da barragem.</p> <p>O PAE deverá conter, entre outras, programas de treinamento e divulgação para os envolvidos e para as comunidades potencialmente afetadas.</p> <p>A PNSB deverá estabelecer programa de educação e de comunicação sobre segurança de barragem.</p>
<p>Preparação e resposta a eventuais emergências</p>	<p>Plano de Ação de Emergência (PAE) devendo contemplar: Mapa de inundação; eliminação da Zona de Autossalvamento (ZAS) e da Zona de Segurança Secundária (ZSS); Levantamento cadastral e mapeamento atualizado da população existente na ZAS; Sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem integrado aos procedimentos emergenciais; Previsão de instalação de sistema sonoro ou de outra solução tecnológica de maior eficácia em situação de alerta ou emergência; Planejamento de rotas de fuga e pontos de encontro, com a respectiva sinalização.</p> <p>Sala de situação para encaminhamento das ações de emergência e para comunicação transparente com a sociedade, com participação do empreendedor, de representantes dos órgãos de proteção e defesa civil, da autoridade licenciadora do SISNAMA, dos órgãos fiscalizadores e das comunidades e Municípios afetados.</p> <p>Caução, seguro, fiança ou outras garantias financeiras ou reais para a reparação dos danos à vida humana, ao meio ambiente e ao patrimônio público.</p>

(Continuação)

Elemento de Gestão	Requisitos
<p>Planejamento da sua desativação e de seus usos futuros</p>	<p>A barragem que não atender aos requisitos de segurança nos termos da legislação pertinente deverá ser recuperada, desativada ou descaracterizada pelo seu empreendedor, que deverá comunicar ao órgão fiscalizador as providências adotadas.</p> <p>A desativação da barragem deverá ser objeto de projeto específico.</p> <p>São obrigatórios, para o empreendedor ou seu sucessor, o monitoramento das condições de segurança das barragens desativadas e a implantação de medidas preventivas de acidentes ou desastres até a sua completa descaracterização.</p> <p>O empreendedor da barragem obriga-se a organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes à desativação da barragem.</p> <p>A ISE é aplicável à fase de desativação, entre outras.</p>

Fonte: O autor, 2023.

1.14 Pontos de atenção

Considerando os elementos estruturantes de um sistema de gestão mostrados na Figura 10 e no Quadro 25, segue elenco de pontos de atenção quanto às possíveis vulnerabilidades da gestão nacional de segurança de barragens de água:

1.14.1 Qualidade do projeto

Há carência de profissionais habilitados pelo CREA para a elaboração de projetos nas regiões rurais mais remotas do país. Muitas das barragens de contenção de água para abastecimento não possuem informações e documentação referentes ao projeto. A inexistência de projetos é uma das principais dificuldades reportadas pelos órgãos fiscalizadores.

1.14.2 Construção

De acordo com o SNISB (dados de 04/07/2022), pouco menos da metade das barragens nacionais possuem informações sobre seus tipos de material de construção. As barragens de terra são as mais empregadas no Brasil (Gráfico 1), no entanto são mais suscetíveis à saturação do que as de concreto.

1.14.3 Operações

Muitas das barragens de contenção de água para abastecimento não possuem dados técnicos necessários ao PSB, ou mesmo dispositivos de descarga disponíveis. A falta de informações técnicas das barragens pelo empreendedor é uma das principais dificuldades reportadas pelos órgãos fiscalizadores. Falhas, subdimensionamento ou inexistência de mecanismos de segurança (vertedouros, sistemas de descarga etc.) não extravasam os grandes volumes recebidos e com isso ocorre o galgamento, que degrada a estrutura à jusante das barragens.

1.14.4 Inspeção e manutenção de estruturas e equipamentos

Falhas estruturais nas barragens (vegetação, construções indevidas, perfurações, trincas, rachaduras, erosões etc.) as tornam mais frágeis para resistir aos esforços da massa d'água recebida.

1.14.5 Gerenciamento de riscos

Houve um aumento significativo nos registros de incidentes e acidentes de barragens nos anos de 2019, 2020 e 2021.

Como abordado no 0 ASPECTOS GERAIS DE BARRAGENS, cerca de 96% das barragens cadastradas no Brasil são de contenção de água, das quais 66% não estão classificadas segundo as categorias de riscos apresentadas no Quadro 6 e 60% não estão classificadas segundo o DPA apresentadas no Quadro 7. Sem a categorização do CRI e do DPA, não se obtém a classificação da barragem e conseqüentemente se desconhece a necessidade de elaboração do PAE, a periodicidade das ISR, as situações em que deve ser realizada obrigatoriamente ISE

e a periodicidade da RPSB mostradas no Quadro 10. Os parâmetros que subsidiam a classificação de uma barragem são suscetíveis a variações, como mostrado no Quadro 11, e conseqüentemente sua frequência de revisões periódicas de segurança, podem variar com o tempo.

Os órgãos licenciadores requerem frequentemente a APP cujos resultados são apresentados em planilha padronizada, como a indicada no Quadro 20, que não fornece informações detalhadas sobre os riscos e como eles podem ser mais bem evitados.

Não há por ora requisitos legais no Brasil que requeiram a aplicação de uma técnica específica para a investigação e análise de acidentes de barragens de contenção de água, de modo que os técnicos encarregados da apuração das causas de acidentes em barragens estão livres para adotar a técnica que melhor lhes convierem.

1.14.6 Atendimento a requisitos legais

A regulação e fiscalização sob critérios distintos por dezenas de órgãos públicos, muitos deles com carências de infraestrutura e efetivo técnico. A Tabela 9, construída a partir dos RSB, apresenta a evolução do ICI que mostra que 74% das informações são consideradas abaixo da média. A falta de contato do responsável legal pelas barragens; a não compreensão dos dispositivos legais por parte dos empreendedores; as dificuldades de logísticas para deslocamento e limitados recursos orçamentários dos órgãos de fiscalização são as principais dificuldades reportadas pelos órgãos fiscalizadores.

1.14.7 Competência dos profissionais envolvidos

A carência de efetivo técnico especializado em segurança de barragens é uma das principais dificuldades reportadas pelos órgãos fiscalizadores.

1.14.8 Cultura de segurança

Os recursos orçamentários limitados dos empreendedores e barragens operando sem licenças são duas das principais dificuldades reportadas pelos órgãos fiscalizadores.

1.14.9 Preparação e resposta a eventuais emergências

Considerando os dados extraídos do SNISB em 04/07/2022, das 22.156 barragens de contenção de água cadastradas e mostradas na Tabela 5 e na Tabela 6, 4.604 são de classes A ou B, e que conforme mostrado no Quadro 10, requerem PAE. Destas, apenas 10% possuem classificação quanto ao Nível de Perigo Global da Barragem (NPGGB).

1.14.10 Planejamento da sua desativação e de seus usos futuros

A legislação brasileira atualmente exige que empresas que possuem barragens realizem o planejamento da desativação dessas estruturas e de seus usos futuros. Essa exigência está prevista na PNSB. De acordo com a legislação, o plano de desativação deve contemplar medidas para a recuperação ambiental da área afetada, bem como a destinação adequada dos resíduos gerados pela operação da barragem. O plano também deve ser submetido à aprovação do órgão fiscalizador responsável pela segurança da barragem, porém há pouca ou nenhuma informação a respeito de desativação de barragens nos RSB da ANA.

A TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO *BOW TIE* COMO SUGESTÃO DE APRIMORAMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Segundo FRANKENFELD, Karoline Pinheiro & MATTOS, U. A. O. (2019), não importa o quanto se planeje, previna e se preocupe com a ocorrência de falhas e eventos incomuns, nenhum sistema é perfeito. Entendem que para criar segurança e confiabilidade é impreterível ter resiliência. Definem que sistemas resilientes são aqueles que possuem a capacidade de retornar ao estado inicial, após um evento adverso, sem gerar consequências para o universo do qual fazem parte. Consideram que por esse motivo, são mais seguros e produtivos, uma vez que toleram estresses e mesmo assim se mantêm operando. Salientam que segurança não é a inexistência de erros, e sim a garantia da existência de defesas no sistema, para absorver os erros e evitar os acidentes.

Uma das técnicas e análise de risco que muito bem explicita as defesas de um sistema de gestão de segurança é a *Bow Tie*, a ser detalhada a seguir.

1.15 Apresentação da técnica de análise de risco *Bow Tie*

A tradução para o português do *Cambridge English-Portuguese Dictionary*, “*Bow Tie*” significa “gravata-borboleta”, que nada mais é do que uma gravata cujo laço forma duas pontas achatadas, iguais e perfeitamente simétricas, evocativas das asas de uma borboleta como mostrado Figura 11 a seguir.

Figura 11 – Gravata-borboleta



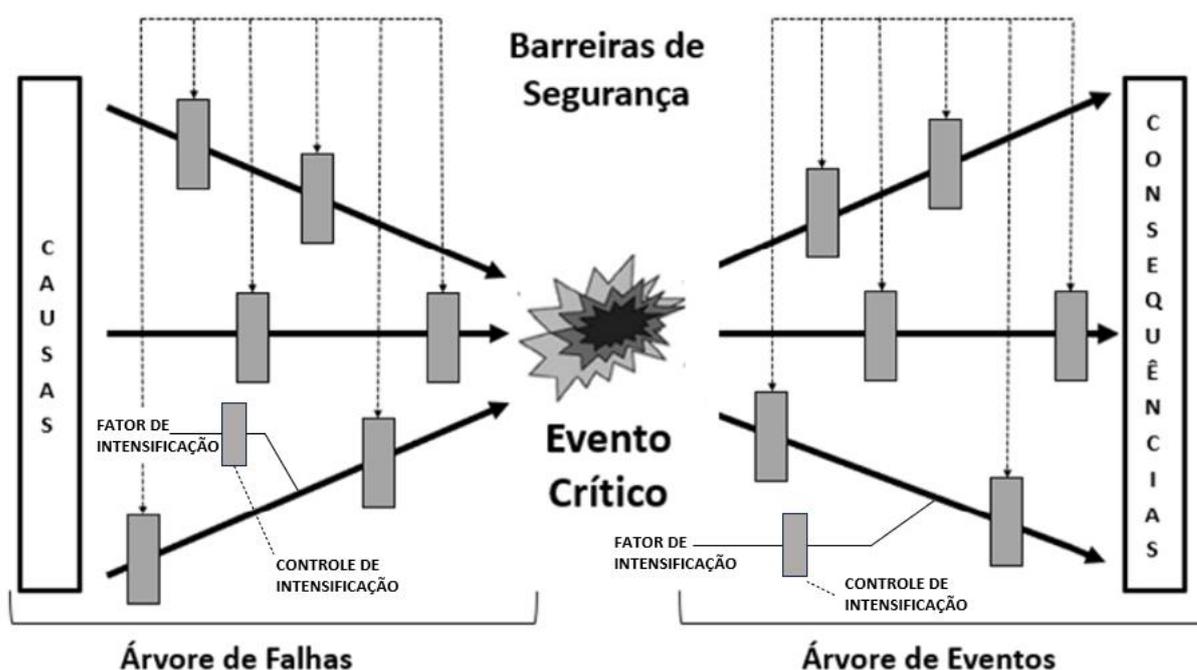
Fonte: Classic Black *Bow Tie* PNG icon (#125331).

Este formato da gravata borboleta inspirou uma importante técnica de análise de riscos, chamada *Bow Tie*, que “é uma técnica que se tornou popular em indústrias de alto risco como petróleo e gás, aviação e mineração” (DE RUIJTER, Alex; GULDENMUND, Frank, 2016).

A técnica *Bow Tie* surgiu pela primeira vez em palestras do curso de Análise de Riscos das Indústrias Químicas na Universidade de Queensland, na Austrália. Posteriormente, o Grupo Shell o aplicou na análise da explosão da plataforma Alpha Drilling, e tem sido amplamente utilizado na análise de alguns grandes acidentes (GUI FU et al., 2020).

A denominação *Bow Tie* refere-se à forma característica do diagrama mostrado na Figura 12, que é semelhante a uma grava-borboleta, embora na prática nem sempre simétrico.

Figura 12 – Exemplo genérico de um diagrama Bow Tie



Fonte: Figura adaptada de Dianous and Fiévez (2006).

Segundo a ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012, o *Bow Tie* é uma maneira esquemática simples de descrever e analisar os caminhos de um risco desde as causas até as consequências. Pode ser considerada uma combinação do raciocínio de árvore de falhas, que analisa a causa de um evento (representada pelo nó da gravata), com árvore de eventos, que analisa as consequências. Entretanto, o foco

do *Bow Tie* está nas barreiras entre as causas e o risco, e o risco e as consequências.

O *Bow Tie* é aplicado por equipe multidisciplinar, treinada no método e composta por especialistas e principalmente pelos trabalhadores de “chão de fábrica” que executam as operações e que intervêm nos sistemas, equipamentos, máquinas, instrumentos e controles. O *Bow Tie* pode ser aplicado a processos variados, intermitentes e contínuos, tanto de modo prospectivo como retrospectivo, ou seja, se aplica tanto à análise de eventos pretéritos como para a previsão de cenários. É uma técnica que serve tanto para analisar riscos quanto para a investigação de acidentes.

1.15.1 Definições

O exemplo do diagrama *Bow Tie* mostrado na Figura 12 tem vários elementos chave, que são definidos da seguinte forma por PITBLADO, R. & WEIJAND, P. (2014):

- a) Evento Crítico (ou Evento Topo): Evento que pode levar a resultados indesejados.
- b) Causas: Desafios aos sistemas de segurança que, se não forem bloqueadas, levarão ao evento topo.
- c) Barreiras Preventivas: Barreiras, controles e salvaguardas que podem bloquear (ou reduzir a probabilidade) a causa antes de levar ao evento topo.
- d) Consequências: Resultados indesejados que podem ocorrer se o evento topo não for bloqueado.
- e) Barreiras de Mitigação: Barreiras, controles e salvaguardas que podem mitigar uma sequência de eventos antes que se atinja a consequência indesejada.
- f) Mecanismos de Decaimento da Barreira (ou Fator de Escalada): As principais barreiras do caminho são compostas por procedimentos, medidas administrativas ou um sistema físico que podem se degradar,

e por isso devem ser considerados no Mecanismos de Decaimento da Barreira.

- g) Os fatores que podem levar a uma intensificação podem ser identificados e incluídos no diagrama. Controles para a intensificação também podem ser representadas.

1.15.2 Processo

Segundo a ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012, o *Bow Tie* é desenhado conforme descrito a seguir:

a) Um risco específico é identificado para análise e representado como o nó central de uma *Bow Tie*.

b) As causas do evento são listadas considerando as fontes de risco (ou perigos em um contexto de segurança).

c) O mecanismo pelo qual a fonte de risco leva ao evento crítico é identificado.

d) Linhas são traçadas entre cada causa e o evento formando o lado esquerdo da *Bow Tie*. Os fatores que podem levar a uma intensificação podem ser identificados e incluídos no diagrama.

e) As barreiras que evitariam que cada causa leve a consequências não desejadas podem ser mostradas como barras verticais cruzando a linha. Onde havia fatores que poderiam causar intensificação, as barreiras para a intensificação também podem ser representadas. A abordagem pode ser utilizada para consequências positivas, onde as barras refletem os “controles” que estimulam a geração do evento.

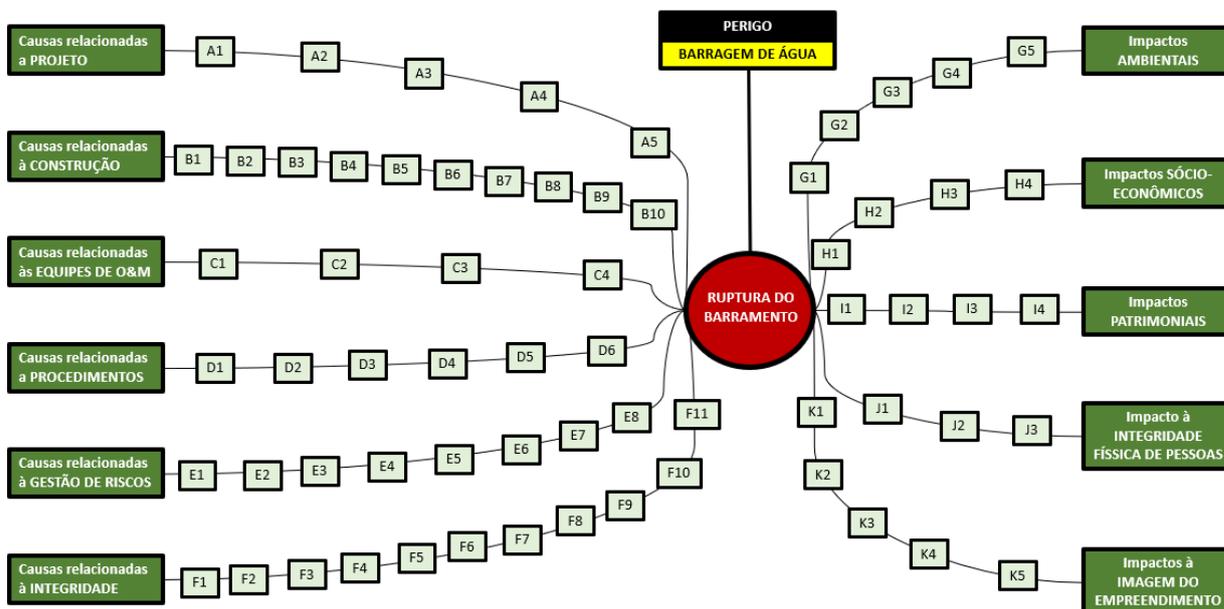
f) No lado direito da *Bow Tie* diferentes consequências potenciais do risco são identificadas e linhas são desenhadas para irradiar do evento de risco para cada consequência potencial.

g) As barreiras para a consequência são representadas como barras que cruzam as linhas radiais. A abordagem pode ser utilizada para efeitos positivos onde as barras refletem os “controles” que suportam a geração das consequências.

h) As funções de gestão que suportam os controles (como treinamento e inspeção) podem ser mostradas sob a *Bow Tie* e vinculadas ao respectivo controle.

A Figura 13 traz um exemplo de aplicação considerando o perigo de uma barragem de água e o rompimento de seu barramento como evento topo.

Figura 13 – Exemplo de aplicação do Bow Tie



Fonte: O autor, 2023.

Barreiras preventivas

A1: Escopo adequado A2: Dados de entrada corretos A3: Dados de saída corretos A4: Aprovação de projeto por profissional habilitado A5: Revisão de projeto por profissional habilitado

B1: Projeto Executivo a cargo de profissional habilitado B2: Gestão de mudanças de projeto B3: Supervisão da construção por profissional habilitado B4: Execução da obra a cargo de empreiteira habilitada B5: Garantia de qualidade na construção B6: Controle de qualidade dos materiais de construção B7: Controle de qualidade de instrumentos de monitoramento B8: Controle de qualidade de equipamentos hidromecânicos B9: Inspeção de segurança especial B10: Plano de segurança da barragem

C1: Admissão de profissionais qualificados C2: Programa de capacitação continuada C3: Contratação de serviços qualificados C4: Efetivo adequado às operações e gestão

D1: Operações cobertas por procedimentos formais D2: Procedimentos adequados às operações D3: Procedimentos revisados periodicamente

Barreiras de mitigação

G1: Contenção da área afetada G2: Monitoramento ambiental da área afetada G3: Resgate e salvamento de fauna G4: Restabelecimento do ambiente natural G5: Investimento em pesquisa e conservação

H1: Programas de assistência social H2: Apoio à recuperação das comunidades afetadas H3: Restabelecimento do ambiente natural

D4: Procedimentos disponíveis aos usuários D5: Procedimentos compreensíveis aos usuários D6: Estímulo gerencial para a aplicação dos procedimentos

E1: Licenciamento prévio E2: Completude das informações de segurança E3: Categorização de risco e do dano potencial associado E4: Classificação das barragens E5: Análise de risco periódicas E6: Gestão das recomendações das análises de risco E7: Análise de abrangência de acidentes E8: Gestão das recomendações das análises de abrangência

F1: Sistema de gestão de integridade implantado F2: Plano de auscultação F3: Confiabilidade das estruturas extravasoras F4: Confiabilidade das estruturas de captação F5: Monitoramento da percolação, deformações e deterioração dos taludes F6: Testes de operabilidade dos sistemas de segurança F7: Inspeções de segurança regular e especial F8: Revisões periódicas de segurança F9: Tratamento das anomalias decorrentes das inspeções F10: Auditorias de integridade F11: Inspeção dos órgãos fiscalizadores

I3: Conservação e restauração do patrimônio I4: Apoio à recuperação das comunidades afetadas

J1: Identificação de rotas de fuga J2: Sistema de alerta e evacuação J3: Plano de emergência e contingência

K1: Comunicação e transparência K2: Resgate e salvamento de

H4: Indenização e reparação dos danos

fauna K3: Apoio à recuperação das comunidades afetadas K4:

I1: Resgate e salvamento do patrimônio I2: Identificação e avaliação dos danos

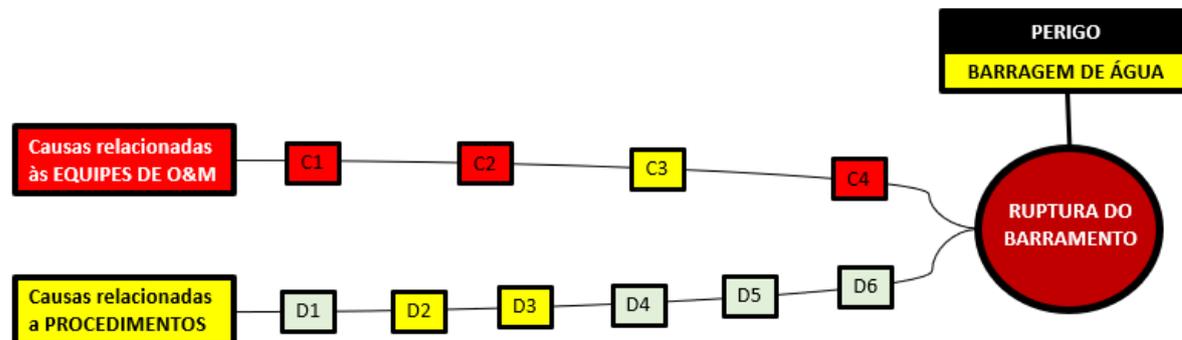
Indenização e reparação dos danos K5: Restabelecimento do ambiente natural

À medida que são realizadas inspeções por profissionais habilitados; fiscalizações de órgãos de governo; auditorias de terceira parte ou mesmos verificações internas pelo corpo técnico dos empreendedores, informações atualizadas sobre cada barreira surgem no ciclo operacional de vida de uma barragem, de modo que podem ser representadas no diagrama por cores diferentes, como no exemplo a seguir:

- c) Verde: para as barreiras no estado potencialmente íntegras.
- d) Amarelo: para barreiras potencialmente degradadas.
- e) Vermelho: para as barreiras inexistentes.

A Figura 14 representa a simulação de um resultado hipotético de uma inspeção de segurança, em que são destacados apenas dois ramos do diagrama *Bow Tie* da Figura 13, para facilitar a compreensão.

Figura 14 – Simulação do resultado hipotético de uma inspeção de segurança de barragem de contenção de água



C1: Admissão de profissionais qualificados C2: Programa de capacitação continuada
 C3: Contratação de serviços qualificados C4: Efetivo adequado às operações e gestão
 D1: Operações cobertas por procedimentos formais D2: Procedimentos adequados às operações
 D3: Procedimentos revisados periodicamente D4: Procedimentos disponíveis aos usuários
 D5: Procedimentos compreensíveis aos usuários
 D6: Estímulo gerencial para a aplicação dos procedimentos

Um critério de pontuação com diferentes pesos a cada barreira pode ser aplicado em razão de sua efetividade individual na prevenção do evento topo, de modo a consolidar o status de cada causa potencial, podendo ser representada pelos mesmos códigos de cores atribuídos às barreiras, facilitando assim a gestão à vista dos riscos. O mesmo pode ser aplicado para as barreiras mitigadoras.

No exemplo da Figura 14, as constatações (hipotéticas) de não admissão de profissionais qualificados em seu corpo técnico, a inexistência de programa de

capacitação continuada e a inadequação do efetivo às operações e gestão revelam que a barragem apresenta vulnerabilidade, podendo vir a se romper em razão de baixa confiabilidade relacionada às equipes de Operação e Manutenção (O&M). A esta vulnerabilidade se soma as falhas relacionadas a procedimentos, dado que a inspeção (hipotética) constatou as barreiras D2 – Procedimentos adequados às operações e D3 – Procedimentos revisados periodicamente como potencialmente degradados.

A depender da barreira, podem ser aplicadas as mais diferentes sistemáticas de verificação, incluindo checagens remotas instrumentadas que permitem o envio de informações por sistemas em rede, ou mesmo pela internet, como exemplo a barreira F5 – Monitoramento da percolação, deformações e deterioração dos taludes mostrada na Figura 13. Quanto mais barreiras puderem ser monitoradas remotamente por instrumentos, mais dinâmico fica o diagrama *Bow Tie*. De outro modo, sua atualização ficará dependente das frequências de captação das informações sobre as barragens por meio de inspeções in loco pelos órgãos de fiscalização ou do fornecimento das condições das barreiras por meio de informações obtidas com os empreendedores. Uma das formas possíveis é implementar um sistema informatizado de prospecção de dados sobre as condições das barreiras.

1.15.3 Pontos fortes e limitações da técnica *Bow Tie*

Os benefícios demonstrados da técnica de *Bow Tie*, segundo os autores ACFIELD, A.P. & WEAVER, R; 2012; AZEEZ, S. & CRANFIELD, 2015, incluem:

- a) Comunicação clara: a representação visual do risco ilustra as relações entre cada elemento. É facilmente entendido por Técnicos de Operação/ Processos (por exemplo, Operador de Sala de Controle), que geralmente não são especialistas em teoria de segurança ou requisitos regulatórios.
- b) Foco em Salvaguardas: identifica e destaca as salvaguardas, o que permite identificar ameaças ou consequências inadequadamente salvaguardadas para que ações possam ser tomadas.

- c) Maior participação e envolvimento da força de trabalho: a designação de indivíduos, especialmente operadores, para serem responsáveis pelas salvaguardas incentiva a participação e a adesão das pessoas que estão realmente operando e mantendo a instalação.
- d) Ganhos de eficiência: o método não é trabalhoso, portanto, pode reduzir o volume geral de análise de segurança. Ele também permite o foco de manutenção, inspeção e testes em salvaguardas.
- e) Segurança ativa: Bow Ties podem ser usados por meio de bancos de dados e registros de risco para permitir atualização periódica, que vincula os procedimentos críticos atuais para ajudar a manter a segurança como uma ferramenta ativa.
- f) Articulação do Sistema de Gestão: Bow Ties podem ser facilmente vinculados aos Sistemas de Gestão de Segurança, pois os elementos do Sistema de Gestão podem ser vinculados a proteções específicas de uma forma que visualize de forma holística os cenários de risco maior.

As limitações incluem a dependência da precisa definição do evento topo, nem sempre trivial, bem como o custo e disponibilidade dos profissionais da equipe multidisciplinar elaboradora da análise. A ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012 também considera:

- a) Não pode ser representada onde múltiplas causas ocorrem simultaneamente para resultar nas consequências (ou seja, onde houver portas “AND” em uma árvore de falhas representando o lado esquerdo do diagrama de *Bow Tie*);
- b) Pode simplificar demasiadamente situações complexas, particularmente quando se pretende a quantificação.

Alguns diagramas *Bow Tie* podem se tornar muito complexos. Há objetivos conflitantes para os diagramas *Bow Tie* (PITBLADO, R. & WEIJAND, P.; 2014). Gerentes de planta e pessoal de segurança precisam saber sobre todas as barreiras. Os reguladores podem precisar apenas conhecer as principais barreiras da via, não necessariamente os Mecanismos de Decaimento da Barreira.

Diversos marcos regulatórios e normas adotaram *Bow Ties* como meio para gerenciar e comunicar riscos operacionais (CHEMICAL CENTER OF PROCESS SAFETY, 2018).

Contudo, a despeito de suas limitações, a análise de risco *Bow Tie* é uma técnica bastante útil porque permite que as organizações visualizem os riscos de uma forma clara e organizada, facilitando a identificação das medidas que podem ser tomadas para gerenciá-los. Além disso, ela permite que as organizações identifiquem as vulnerabilidades e as lacunas existentes em seus sistemas de prevenção e mitigação de riscos, o que pode ser utilizado para melhorar a segurança e a eficiência das operações.

CONCLUSÃO

As definições de barragem apresentadas nesta dissertação são convergentes, porém chama a atenção o fato de haver referência americana que vincula sua definição de barragem a altura do leito natural do córrego ou curso de água. Interessante também a definição internacional de grande barragem, que vincula a altura e volume mínimos.

Embora menos da metade das barragens cadastradas no Brasil possuam informações sobre os tipos de materiais utilizados em sua construção, as barragens de terra são as mais comuns no país. Contudo, elas são mais suscetíveis à saturação do que as de concreto, visto que, mesmo com um solo adequado, a água represada tende a infiltrar no barramento a partir de sua base.

O barramento é a estrutura construída transversalmente ao curso de água e, conjuntamente com a fundação e as ombreiras formam a estrutura protagonista na prevenção de acidentes de barragem.

As estruturas extravasoras e as descargas de fundo são sistemas também importantes para a segurança de uma barragem, pois evitam que cargas extraordinárias sobrecarreguem a estrutura de retenção de uma barragem.

A grande maioria das barragens cadastradas no Brasil é utilizada para contenção de água, sendo seu uso predominantemente destinado a atividades rurais de irrigação e dessedentação animal.

A região sul concentra metade do total de barragens cadastradas no país, com destaque para o Estado do Rio Grande do Sul, onde cerca de 90% das suas barragens foram cadastradas em 2019, ano marcado pela tragédia do rompimento da barragem de rejeitos de mineração de Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG. Esse fato sugere uma importante mobilização do Estado e dos seus empreendedores para o cadastramento de suas barragens no sistema, embora a maioria delas não estivessem classificadas quanto ao risco e dano potencial.

A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades que utilizam recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores, ou que possam causar degradação ambiental, dependem de prévio licenciamento ambiental no Brasil. O licenciamento é conduzido por um único ente federativo, podendo ser de competência da União, dos Estados ou dos Municípios.

Para empreendimentos/projetos de grande impacto, a Resolução 001/1986 do CONAMA estabeleceu a obrigatoriedade da realização do EIA e do RIMA.

Além do EIA/RIMA, o órgão licenciador pode determinar a elaboração de outros tipos de estudo. Em São Paulo, por exemplo, a CETESB requer EAR para determinados tipos de empreendimentos. Esses estudos complementam o EIA/RIMA e contemplam não apenas os aspectos relacionados aos impactos ambientais e à poluição crônica, mas também a prevenção de acidentes maiores.

Diversos órgãos licenciadores no Brasil utilizam a NORMA TÉCNICA CETESB P4.261 - Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência para demandar EAR em complemento ao Estudo de Impactos Ambientais. Uma das técnicas de identificação de perigos propostas pela CETESB e frequentemente requeridas pelos órgãos licenciadores é a APP, mas a planilha padronizada não fornece informações detalhadas sobre os riscos e como eles podem ser mais bem evitados. Outras técnicas propostas pela CETESB são o HazOp e o What If.

As barragens no Brasil são fiscalizadas por órgãos públicos, que variam de acordo com o uso prioritário da barragem e do domínio do corpo d'água em que ela se encontra. A parceria entre as instituições federais que integram o Acordo de Cooperação Técnica em Segurança de Barragens (ACT-SB), com suas diferentes competências, capacidades e expertises, promove maior efetividade na implementação dos instrumentos da PNSB.

A maioria dos órgãos públicos responsáveis pela regulação e fiscalização apresentam carências de infraestrutura e efetivo técnico para suas atividades. Com isso, é razoável não se surpreender com um aumento significativo nos registros de incidentes e acidentes de barragens na década de 2011 a 2020.

Os exemplos de marcos regulatórios de diferentes países permitiram perceber que apesar de algumas diferenças em relação ao modelo brasileiro, há convergência na existência de um sistema de classificação e exigências de inspeções de segurança periódicas e planos de emergência.

A classificação é mutável, devido à suscetibilidade a variações dos parâmetros de categoria de riscos e danos potenciais associados.

Embora a PNSB atribua a cada UF a edição de regulamentos próprios sobre segurança de barragens e a classificação das suas barragens, é razoável que os

Estados alinhem suas legislações de modo a estarem igual ou mais restritivos que as referências legais e regulamentares federais.

As barragens para abastecimento humano e irrigação, que representam quase a metade das barragens cadastradas no Brasil, são as que mais frequentemente se enquadram tanto na CRI alta quanto no DPA alto. É preocupante que três em cada cinco barragens de contenção de água não estejam classificadas nem por CRI nem por DPA. Somente as barragens para uso hidroelétrico estão 100% classificadas, o que não causa estranheza pelo fato delas estarem sob a responsabilidade de empresas de grande porte, que possuem recursos suficientes e corpo técnico compatível para com o risco da atividade econômica.

Para mais da metade das barragens cadastradas no Brasil não são atribuídas, por carência de informação, as CRI e o DPA. O ICI publicado pelo SNISB mostra que 74% das informações são consideradas abaixo da média. Assim, os órgãos de fiscalização desconhecem a classificação dessas barragens e com isso se desconhece a necessidade de elaboração do PAE, a periodicidade das ISR, as situações em que deve ser realizada obrigatoriamente a ISE e a periodicidade da RPSB, requisitos essenciais para a gestão de segurança de barragens.

Na década de 2011 a 2020 observou-se um aumento significativo tanto no número de acidentes quanto no de incidentes, em especial nos anos de 2019 e 2020. Estes acidentes ocorreram principalmente em barragens sob a responsabilidade de empreendedores pessoas físicas, construídas com terra, de altura inferior a 15 metros e volume inferior a 3 hm³, localizadas em propriedades rurais em Minas Gerais e Goiás. Tais acidentes foram causados predominantemente devido ao recebimento de grandes volumes de água em curto espaço de tempo, muitas vezes provocados por fortes chuvas ou pelo rompimento de barragens à montante. Falhas, subdimensionamento ou inexistência de mecanismos de segurança (como vertedouros e sistemas de descarga) levaram ao galgamento e conseqüentemente à degradação da estrutura à jusante das barragens. Falhas estruturais nas barragens, provocadas por vegetação, construções indevidas, perfurações, trincas, rachaduras e erosões as tornaram menos resistentes aos esforços da massa d'água recebida.

Em razão de os acidentes terem ocorridos majoritariamente com barragens de pequena altura e volume reduzido, suas conseqüências foram limitadas, tendo

afetado apenas pequenas populações e causado prejuízos patrimoniais de baixa monta, e sem vítimas fatais.

Não há requisitos legais no Brasil que requeiram a aplicação de uma técnica específica para a investigação e análise de acidentes de barragens de contenção de água. A implementação do Laudo Técnico para apuração das causas ainda depende de ter o artigo 18-C da PNSB regulamentado.

É essencial reconhecer que a sociedade tem interesse legítimo e direito de acessar às informações sobre os acidentes de barragens, pois seus impactos não se restringem apenas às empresas ou às instituições envolvidas na operação das barragens, mas reverberam nas vidas de cada integrante das sociedades impactadas. Dado que a governança das águas no Brasil preconiza a transparência como um princípio fundamental, a ANA, a exemplo da ANP, poderia demandar dos empreendedores e disponibilizar em seu site a íntegra dos relatórios de investigação de acidentes de barragens, pois as informações atualmente registradas nos reportes anuais de segurança de barragens da ANA são muito escassas. A não disponibilização integral dos relatórios de investigação de acidentes de barragens pode gerar desconfiança e especulação, prejudicando a credibilidade na governança da segurança de barragens no Brasil.

A segurança de barragens envolve dois aspectos fundamentais: a integridade da barragem e a gestão de emergências. Entretanto, é importante um sistema de gestão que funcione como um maestro para uma orquestra, considerando diversos elementos estruturantes de gestão, tal como os diferentes instrumentos musicais, cada um com seu som específico contribuindo para o todo – a sinfonia.

Por meio da comparação da PNSB com o modelo de gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS) do CCPS, internacionalmente reconhecido na indústria química, petroquímica e de óleo & gás, pode-se dizer haver correspondência entre seus elementos. No entanto, há pontos de atenção, dentre os quais as barragens em regiões rurais remotas que apresentam carências de projeto e de profissionais habilitados, pois muitas delas não possuem informações e documentação referentes ao projeto; pouco menos da metade das barragens nacionais possuem informações sobre seus tipos de material de construção, e sequer possuem dados técnicos necessários ao Plano de Segurança da Barragem.

Ao adotar o Modelo de Gestão de Segurança do tipo Atenção referenciado anteriormente, que considera serem os acidentes decorrentes de falhas de

organização/ processo de trabalho, tem-se uma gestão mais proativa e preventiva, em que a identificação e correção de falhas ocorrem antes que incidentes e acidentes aconteçam. Esse modelo busca evitar a repetição de eventos indesejáveis por meio de uma análise aprofundada das causas raízes e da implementação de barreiras.

O *Bow Tie*, devido suas características metodológicas, viabiliza uma comunicação clara e organizada dos riscos e das proteções, facilmente entendido pelos técnicos e gestores, pois destaca visualmente em seu diagrama as salvaguardas e suas condições de operacionalidade, o que permite identificar as vulnerabilidades e com isso deflagrar ações de preservação e correção tempestivas para melhorar a segurança e a eficiência das operações.

Considerando que a implementação de defesas é fundamental para a segurança de qualquer sistema sociotécnico, esta dissertação sugere a incorporação da técnica *Bow Tie* ao sistema de gestão de segurança de barragens de contenção de água, importante não apenas para a robustez do elemento de gestão análise de riscos isoladamente, mas sim como ferramenta para a gestão cotidiana da segurança de barragens de contenção de água tanto pelos órgãos fiscalizadores como pelos próprios empreendedores, com a indispensável participação dos trabalhadores e comunidades envolvidos.

REFERÊNCIAS

ACFIELD, A.P.; WEAVER, R. Integrating safety management through the Bowtie concept a move away from the safety case focus. 2015.

ACRE (Estado). Portaria Normativa IMAC nº 220, de 21 de dezembro de 2022. Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança de Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência. Diário Oficial do Estado, Rio Branco, AC, n. 13.436, 22 dez. 2022. P. 50.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). *Relatórios de Segurança de Barragens – 2011 a 2021*. Brasília, 2023. Disponível em:< <https://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Resolução Normativa nº 236, de 30 de janeiro de 2017. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 07 fev. 2017. Seção 1, p. 34.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Resolução Normativa nº 121, de 09 de maio de 2022. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 13 de maio de 2022. Seção 1, p. 26.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). *Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens*. Brasília, 2023. Disponível em:< <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/inicio>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução Normativa nº 1.064, de 02 de maio de 2023. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 11 de maio de 2023. Seção 1, p. 189.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (Brasil). Relatórios de investigação de incidentes, de 13 de Julho de 2020. < <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1>>.

ALAGOAS (Estado). Portaria SEMARH nº 492, de 3 de setembro de 2015. Estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem. Diário Oficial do Estado, Maceió, AL, n. 167, 08 set. 2015. P. 20.

AMAPÁ (Estado). Portaria IMAP nº 435, de 19 de dezembro de 2018. Regulamenta as ações pertinentes à segurança de barragens outorgadas pelo IMAP e dá outras providências. Diário Oficial do Estado, Macapá, AP, n. 6833, 04 jan. 2019. P. 32.

AMAZONAS (Estado). Portaria Normativa IPAAM nº 139, de 03 de dezembro de 2018. Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos

responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança de Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência. Diário Oficial do Estado, Manaus, AM, n. 33.893, 04 dez. 2018. Publicações Diversas, p. 2.

ANDREETTA, Arthur Bucciarelli. Avaliação comparativa dos marcos regulatórios estaduais de segurança de barragens de usos múltiplos do Brasil. 2020. 395 f. Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira, 21 de Dezembro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/IEC 31010:2012: Gestão de riscos — Técnicas para o processo de avaliação de riscos*. Rio de Janeiro, 2012.

AZEEZ, S. & CRANFIELD, J. Assimilation of Major Accident Hazard (MAH) Analysis into Process Safety Management (PSM) Process. *International Petroleum Technology Conference*, Doha, 2015.

BAHIA (Estado). Portaria INEMA nº 16.481, de 11 de julho de 2018. Estabelece o prazo de execução, a periodicidade de atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, da Revisão Periódica de Segurança da Barragem e do Plano de Ação de Emergência. Diário Oficial do Estado, Salvador, BA, n. 22.455, 12 jul. 2018.

BIEDERMANN, R: *Safety concept for dams: development of the swiss concept since 1980*. Berne, Switzerland, v. 21, 1997. 26.

BRADLOW, D. D.; PALMIERI, A.; SALMAN, S. M. A. *Regulatory Frameworks for Dam Safety: A Comparative Study*. Washington, D.C.: World Bank Group. 2002. Disponível em <<https://books.google.com.br/books?id=tUtZAQAAQBAJ>>.

BRASIL. Decreto nº 8.437, de 22 de abril de 2015. Regulamenta o disposto no art. 7º, caput, inciso XIV, alínea “h”, e parágrafo único, da Lei Complementar n. 140, de 8 de dezembro de 2011, para estabelecer as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência da União. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 abr. 2015. Seção 1, p.4.

BRASIL. Lei Complementar nº 140, de 08 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 09 dez. 2011.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 21 set. 2010. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1 out. 2020. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 02 set. 1981.

BUREAU OF RECLAMATION. *Design of small dams*. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1987.

CEARÁ (Estado). Portaria SRH nº 2.747, de 19 de dezembro de 2017, alterada pela Portaria SRH nº 101, de 14 de janeiro de 2020. Estabelece o cadastro estadual de barragens e 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. *Diário Oficial do Estado*, Fortaleza, CE, n. 236, 19 dez. 2017. Caderno 1, p. 61.

CENTRO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS. *Curso de Construção de Pequenas Barragens de Terra*. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br>>. Acesso em: 9 dez. 2022.

CHEMICAL CENTER OF PROCESS SAFETY. *Bow Ties in Risk Management: A Concept Book for Process Safety*. New York, 2018.

CHEMICAL CENTER OF PROCESS SAFETY. *Diretrizes Para Segurança de Processo Baseada em Risco*. Editora Interciência, 2014. 808 p.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. *Dicionário de barragens*. Núcleo Regional do Paraná CRBD. Nova Prova. Porto Alegre, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Norma P4.261: Risco de acidente de origem tecnológica – Método para decisão e termos de referência*. São Paulo, 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, n. 172, 04 set. 2012. Seção 1, p. 172.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Seção 1, p. 2548.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 247, 22 dez. 1997. Seção 1, p. 30841.

CRISTIANE COLLET BATTISTON. Entrevista concedida a Luiz Claudio Silva. Brasília, 22 set. 2022.

DE DEUS GROTTTO, Beatriz; COSTA, Jéssica Tainá Concon; GOMES, Heitor Menezes. Licenciamento ambiental no Brasil: definições e desafios. *Guia Universitário de Informações Ambientais*, v. 2, n. 1, p. 53-55, 2021.

DE DIANOUS V; FIÉVEZ C. ARAMIS. Project: a more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *J Hazard Mater.* 2006 Mar 31; 130(3): 220-33. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.07.010.

DE JESUS, Michele Bispo. *Aspectos de gestão frente à política nacional de segurança de barragens*. 2021. P. 243. Dissertação de Mestrado do Programa de pós-graduação em Engenharia Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

DE RUIJTER, Alex; GULDENMUND, Frank. The bowtie method: A review. *Safety science*, v. 88, p. 211-218, 2016.

DISTRITO FEDERAL (Estado). Resolução ADASA nº 10, de 3 de junho de 2020. Regulamenta os procedimentos para elaboração do Plano de Segurança de Barragem. Diário Oficial do Distrito Federal, DF, n. 105, 04 jun. 2020. Seção I, p. 13.

DUFFAUT, Pierre. The traps behind the failure of Malpasset arch dam, France, in 1959. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, v. 5, issue 5, p. 335-341, October 2013.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Resolução AGERH nº 72, de 19 de dezembro de 2018. 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 para Barragens de Acumulação de Água. Diário Oficial dos Poderes do Estado, Vitória, ES, n. 24.885, 21 dez. 2018. P. 52.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. *Federal Guidelines for Dam Safety, Glossary of Terms*. US, 2004. Disponível em: <https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema_dam-safety_glossary_P-148.pdf>.

FONSECA, Igor Ferraz da. A construção de grandes barragens no Brasil, na China e na Índia: similitudes e peculiaridades dos processos de licenciamento ambiental em países emergentes. 2013.

FONTES, Alessandra Renata Freitas; GIUDICE, Dante Severo. O impacto das condicionantes e determinantes na avaliação de viabilidade ambiental no processo

de licenciamento ambiental de hidrelétricas brasileiras. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 10, n. 1, p. 03-30, 2021.

FRANCE, J., ALVI, I.; DICKSON, P.; FALVEY, H.; RIGBEY, S. & TROJANOWSKI, J. Independent Forensic Team Report for Oroville Dam Spillway Incident. *Damsafety.Org*. P. 584, Jan. 5, 2018.

FRANKENFELD, Karoline Pinheiro & MATTOS, U. A. O.; Engenharia de resiliência e novos paradigmas da gestão em segurança do trabalho. In: Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos; Francisco Soares Másculo. (Org.). *Higiene e Segurança do Trabalho*. 2ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019, v. 1, p. 483-506.

GIONGO, Carmem Regina; MENDES, Jussara Maria Rosa. A legitimação da injustiça social e ambiental: análise da legislação no campo da construção de hidrelétricas no Brasil. *Textos & Contextos (Porto Alegre)*, vol. 17, núm. 2, pp. 423-436, 2018.

GOIÁS (Estado). Instrução Normativa SEMAD nº 01, de 28 de abril de 2020. Estabelece as normas e procedimentos aplicáveis à segurança de barragens instaladas ou a serem instaladas no Estado de Goiás, para os quais a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD tenha outorgado ou deva outorgar o direito de uso dos recursos hídricos. *Diário Oficial do Estado, Goiânia, GO*, n. 23.309, 26 mai. 2020. P. 7.

GONÇALVES, Bruna Balbi; DE OLIVEIRA SALES, Juliana. Licenciamento ambiental no atual modelo energético: o caso das barragens no Rio Madeira. *Revista Videre*, v. 11, n. 22, p. 15-46, 2019.

GRAHAM, Wayne J. The Teton Dam Failure: An Effective Warning and Evacuation. *Reclamation: Managing Water in the West*. July 30, 2008. Disponível em: <https://damfailures.org/wp-content/uploads/2015/07/075_The-Teton-Dam-Failure.pdf>.

Gui Fu, Xuecai Xie, Qingsong Jia, Zonghan Li, Ping Chen, Ying Ge. The development history of accident causation models in the past 100 years: 24Model, a more modern accident causation model, *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 134, 2020, Pages 47-82, ISSN 0957-5820.

GUIDICINI, Guido; SANDRONI, Sandro Salvador; MELLO, Flavio Miguez. *Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragem e obras anexas no Brasil*. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2021.

HASSAN, V.V.; BARCELLOS, P.C.L.; DA SILVA, J.C. Predictive Method for Activation of Sirens in Vulnerable Communities to Landslides in the Duque de Caxias City, Rio de Janeiro State, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 40, p. 127-134, 2017.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Constitution Statutes*. França, 2011. Disponível em: <https://www.icoldd-cigb.org/userfiles/files/CIGB/INSTITUTIONAL_FILES/Constitution2011.pdf>.

LARSON, Cindy. 6 deadly days: How the Flood of 1913 devastated Fort Wayne. *The News-Sentinel*, Tennessee, United States, March 20, 2013 < <http://nscontent.news-sentinel.com/?q=page/6-deadly-days-how-flood-1913-devastated-fort-wayne>>.

LYNCH, Andy. Banqiao Dam (China, 1975): Case Study. *Association of State Dam Safety Officials*. Kentucky, USA. Disponível em: < <https://damfailures.org/case-study/banqiao-dam-china-1975/>>. Acesso em: 06 Jul 2023.

MARANHÃO (Estado). Portaria SEMA nº 132, de 27 de dezembro 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. Diário Oficial do Estado, São Luis, MA, n. 242, 29 dez. 2017. P. 40.

MATO GROSSO (Estado). Resolução CEHIDRO nº 163, de 11 de maio de 2023. 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, das Barragens fiscalizadas pela SEMA. Diário Oficial do Estado, Cuiabá, MT, n. 28.502, 18 mai. 2023. P. 19.

MATO GROSSO DO SUL (Estado). Resolução SEMAGRO nº 757, de 3 de agosto de 2021. Regulamenta os procedimentos e critérios complementares para classificação de barragens e 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 em barragens fiscalizadas pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul - IMASUL. Diário Oficial do Estado, Campo Grande, MS, n. 10.595, 04 ago. 2021. P. 22.

MATTOS, U. A. O.; SANTOS, Paula Raquel dos; ROCHA, D. S. Serviço de atenção à saúde e segurança do catador de materiais recicláveis em cooperativas. *Revista Internacional de Ciências*, v. 11, p. 78-96, 2021.

MAUNEY, Lee. Vajont Dam (Italy, 1963): Case Study. *Association of State Dam Safety Officials*. Kentucky, USA. Disponível em: < <https://damfailures.org/case-study/vajont-dam-italy-1963/>>. Acesso em: 06 Jul 2023.

MINAS GERAIS (Estado). Portaria IGAM nº 08, de 17 de março de 2023. Dispõe sobre a regulamentação de barragens de usos múltiplos fiscalizadas pelo IGAM, bem como sobre os procedimentos para o cadastro de barragens em curso d'água no Estado de Minas Gerais. Diário Oficial do Estado, Belo Horizonte, MG, n. 54, 17 mar. 2023. Caderno 1, p. 9.

PARÁ (Estado). Instrução Normativa SEMAS nº 2, de 6 de fevereiro de 2018. Estabelece os procedimentos e critérios para elaboração e apresentação do Plano de Segurança da Barragem de Acumulação de Água e de Disposição de Resíduos Industriais - PSB. Diário Oficial do Estado, Belém, PA, n. 33.554, 07 fev. 2018. P. 26.

PARAÍBA (Estado). Resolução AESA nº 4, de 25 de novembro de 2016. Estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem. Diário Oficial do Estado, João Pessoa, PB, n. 16.285, 06 jan. 2017. P. 3.

PARANÁ (Estado). Portaria AGUASPARANA nº 46, de 27 de novembro de 2018. 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. Diário Oficial do Estado, Curitiba, PR, n. 10.327, 04 dez. 2018. P. 51.

PEREIRA, Geraldo Magela. Descrição de casos de rupturas de barragens a partir da década de 50, em âmbito mundial. 2017. 73 f. Programa de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense – Instituto de Química – UFF, Niterói, 2017. < <https://defesacivil.uff.br/wp-content/uploads/sites/325/2020/10/2017-Magela.pdf>>

PERNAMBUCO (Estado). Resolução APAC nº 3, de 28 de dezembro 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. Diário Oficial do Estado, Recife, PE, n. 243, 29 dez. 2017. P. 28.

PIAUI (Estado). Instrução Normativa SEMAR nº 4, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece o conteúdo mínimo do Plano de Segurança de Barragem, da Revisão Periódica da Segurança de Barragem, do Relatório de Inspeção, da periodicidade e da equipe técnica para barragens de acumulação de água. Diário Oficial do Estado, Teresina, PI, n. 246, 30 dez. 2019. P. 46.

PITBLADO, R. & WEIJAND, P. Barrier Diagram (*Bow Tie*) Quality Issues for Operating Managers. *Process Safety Progress*. 2014. 33. 10.1002/prs.11666.

RIO DE JANEIRO (Estado). Resolução INEA nº 165, de 26 de dezembro de 2018. Estabelece diretrizes para elaboração do Plano de Segurança da Barragem, regulamentando as Políticas Nacional e Estadual de Segurança de Barragens no âmbito da competência do INEA. Diário Oficial do Estado, Rio de Janeiro, RJ, n. 016, 22 jan. 2019. Parte I, p. 23.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Portaria IGARN nº 10, de 16 de novembro de 2017. Estabelece 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, do Plano de Ação de Emergência e a qualificação dos responsáveis técnicos e a periodicidade de execução destas atividades. Diário Oficial do Estado, Natal, RN, n. 14.073, 20 dez. 2017. P. 6.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Portaria SEMA nº 136, de 29 de dezembro de 2017. Estabelece o conteúdo mínimo e o detalhamento do Plano de Segurança de Reservatórios de Acumulação de Água - Açudes e Barragens, e a sua Revisão

Periódica, bem como dá outras providências. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, RS, n. 247, 29 dez. 2017. P. 157.

ROGERS, J. David; HASSELMANN, Karl F. The St. Francis Dam Failure: Worst American Engineering Disaster of the 20th Century. *AEG Shlemon Specialty Conference: Dam Failures and Incidents*. Association of Environmental and Engineering Geologists, Colorado, USA. May 16, 2013.

RONDÔNIA (Estado). Portaria SEDAM nº 539, de 09 de dezembro de 2022. Estabelece os critérios e os procedimentos para classificação de barragens de usos múltiplos, e dá outras providências relativas ao Plano de Segurança de Barragem, as Revisões Periódicas, ao Plano de Ação Emergencial e as Inspeções de Segurança Regulares e Especiais. Diário Oficial do Estado, Porto Velho, RO, n. 246, 26 dez. 2022. P. 150.

RORAIMA (Estado). Instrução Normativa FEMARH/PRES nº 03, de 2 de fevereiro de 2022. Dispõe sobre os critérios e os procedimentos para a classificação, implantação, e a revisão periódica de segurança de barragens de acúmulo de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do Estado de Roraima. Diário Oficial do Estado, Boa Vista, RR, n. 4.134, 04 fev. 2022. P. 70.

SANTA CATARINA (Estado). Portaria SDE nº 448, de 10 de dezembro de 2019. 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 de acumulação de água, exceto Geração de Energia Hidrelétrica, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência. Diário Oficial do Estado, Florianópolis, SC, n. 21.167, 19 dez. 2019. P. 33.

SÃO PAULO (Estado). Portaria DAEE nº 3.318, de 30 de maio de 2022. Aprova os critérios e procedimentos para a classificação de barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico, localizadas em cursos d'água de domínio do Estado de São Paulo, e dá outras providências relativas ao Plano de Segurança de Barragem, as Revisões Periódicas, ao Plano de Ação de Emergencial e as Inspeções de Segurança Regulares e Especiais. Diário Oficial do Estado, São Paulo, SP, Vol. 132, n. 106, 31 mai. 2022. Seção I, p. 60.

SERGIPE (Estado). Portaria SEMARH nº 21, de 16 de novembro de 2015. Estabelece a classificação das barragens de acumulação de água, de domínio estadual, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base nos critérios gerais estabelecidos pela Resolução CONERH n.º 143, de 10 de julho de 2012, no estado de Sergipe. Diário Oficial do Estado, Aracaju, SE, n. 27.354, 10 Dez 2015. P. 5.

SERGIPE (Estado). Portaria SEMARH nº 58, de 18 de dezembro de 2017. Estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança de Barragem (PSB) de acumulação de água, da Inspeção de Segurança Regular (ISR), da Inspeção de Segurança Especial (ISE), da Revisão Periódica de Segurança de

Barragem (RPSB) e do Plano de Ação de Emergência (PAE). Diário Oficial do Estado, Aracaju, SE, n. 27.487, 20 Dez 2017. P. 8.

SILVA, L. C.; MATTOS, U. A. O.; SILVA, J. C. Dams safety: An analysis of safety management and the difficulties of its supervision. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 45, e6 2023. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X72372>.

TOCANTINS (Estado). Portaria NATURATINS nº 483, de 18 de dezembro de 2017. Regulamenta as ações pertinentes à segurança de barragens outorgadas pelo NATURATINS e dá outras providências. Diário Oficial do Estado, Palmas, TO, n. 5.017, 22 dez 2017. P. 85.

UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION. *Design of Small Dams: A Water Resources Technical Publication*. 3. ed. Washington, USA: United States Department of The Interior, 1987.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Engineering and design safety of dams – policy and procedures*. Washington, DC: USACE, 2014.

APÊNDICE A – Causas e consequências dos acidentes com barragens de contenção de água no Brasil

Este apêndice foi construído com base nos dados das barragens de contenção de água acidentadas de 2011 a 2021 no Brasil, contabilizados no Gráfico 4 – Evolução do número de acidentes e incidentes de barragens no Brasil.

O campo “identificação no RSB” abaixo corresponde ao conteúdo dos capítulos “acidentes e incidentes” de cada relatório anual de segurança de barragens – RSB de 2011 a 2021 da ANA.

Quadro 26 – Causas e consequências dos acidentes de barragens no Brasil

(Continua)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2021 Acidente 01	- Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.
2021 Acidente 02	- Rompimento de barragem em Jussiapé. Empreendedor: Prefeitura Municipal de Jussiapé. Fiscalizador: INEMA/BA. Altura (m): 7,0. Volume (hm³): 1,237. Material: Alvenaria de Pedra. Município/Estado: Jussiapé/BA. Data: 26/12/2021. Data fim do evento: 26/12/2021. Data de identificação: 26/12/2021.	Galgamento em função de fortes chuvas.	Nenhuma vítima fatal. Onda de propagação de cheia atingiu duas casas, sem maiores danos.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2021 - Acidente 03	Rompimento da Barragem Quatis dos Fernandes. Empreendedor: sem informação. Fiscalizador: INEMA/BA. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra. Município/Estado: Vitória da Conquista/BA. Data início do evento: 25/12/2021. Data fim do evento: 25/12/2021. Data de identificação: 25/12/2021	Galgamento em função de fortes chuvas.	Nenhuma vítima fatal. A onda de propagação de cheia atingiu outra barragem a jusante que também sofreu galgamento
2021 - Acidente 04	Rompimento da Barragem do Iguá. Empreendedor: sem informação. Fiscalizador: INEMA/BA. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra. Município/Estado: Vitória da Conquista/BA. Data início do evento: 25/12/2021. Data fim do evento: 25/12/2021. Data de identificação: 25/12/2021.	Galgamento em função de fortes chuvas. Onda de propagação proveniente do rompimento da barragem de montante.	Nenhuma vítima fatal.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2021 - Acidente 05		<p>Galgamento ocorrido na ombreira esquerda danificando a estrutura do maciço. Verificou-se que uma das manilhas teve sua função desconfigurada, antes utilizada como mecanismo de segurança, passou a ser utilizada para derivação e fornecimento de recursos hídricos até um tanque escavado na região de jusante do barramento. A manilha teve uma redução na sua capacidade de 60 cm para uma tubulação de PVC de 200 mm direcionada até um tanque escavado. Em uma avaliação preliminar, tudo aponta que essa conduta de modificar propositalmente com o intuito de realizar a derivação foi um fator que corroborou para o galgamento e conseqüentemente o colapso da barragem.</p>	<p>Nenhuma vítima fatal.</p> <p>Total de pessoas afetadas: 0. Danos Financeiros: autuação do órgão fiscalizador de R\$ 43.000,00.</p>

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2021 - Acidente 06	Curral de Dentro 01. Empreendedor: Tarcísio Fernando Félix da Assenção. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): 7. Volume (hm³): 0,6. Material: Terra. Município/Estado: Curral de Dentro/MG. Data início do evento: 28/12/2021. Data fim do evento: 28/12/2021. Data de identificação: 01/02/2022.	Com as fortes chuvas que atingiram a região no período do final do ano de 2021, o empreendedor de uma barragem mais a montante fez o rebaixamento e abertura do vertedouro, fazendo com que o volume recebido na barragem, aliado com a cheia provocada pelas chuvas, não fosse suportado pela barragem, obrigando o empreendedor a abrir a brecha próximo da ombreira esquerda.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 284. *
2021 - Acidente 07	Curral de Dentro 02. Empreendedor: Luciano Félix da Assenção. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): 5. Volume (hm³): 0,5. Material: Terra. Município/ Estado: Curral de Dentro/MG. Data início do evento: 28/12/2021. Data fim do evento: 28/12/2021. Data de identificação: 01/02/2022.	Com as fortes chuvas que atingiram a região no período do final do ano de 2021, o empreendedor de uma barragem mais a montante fez o rebaixamento e abertura do vertedouro. A barragem logo a montante galgou e abriu brecha na ombreira esquerda, aumentando ainda mais o volume liberado. Foi feita a tentativa de abertura de brecha, mas o maquinário não chegou a tempo.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 284. *

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2021 - Acidente 08	Curral de Dentro 03. Empreendedor: Cecília Macia Rodrigues e Lopes. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): 2. Volume (hm ³): 0,14. Material: Terra e pedra argamassada. Município/Estado: Curral de Dentro/MG. Data início do evento: 28/12/2021. Data fim do evento: 28/12/2021. Data de identificação: 01/02/2022.	Volume de cheia provocando o galgamento na junção da pedra com a terra e em parte do maciço de terra, e/ou percolação entre a junção, provocando brecha de abertura.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 284. *
2021 - Acidente 09	Curral de Dentro 04. Empreendedor: Arcúcio. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): 3. Volume (hm ³): 0,04. Material: Terra. Município/Estado: Curral de Dentro/MG. Data início do evento: 28/12/2021. Data fim do evento: 28/12/2021. Data de identificação: 01/02/2022.	Galgamento na parte central da barragem, provocando brecha e liberando todo o volume armazenado para jusante.	Percorrendo cerca de 1,5km alcançou e provocou o galgamento de outra barragem. Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 284. *

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2021 - Acidente 10	Curral de Dentro 05. Empreendedor: Charles W. Fernandes. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): 3. Volume (hm ³): 0,04. Material: Terra. Município/Estado: Curral de Dentro/MG. Data início do evento: 28/12/2021. Data fim do evento: 28/12/2021. Data de identificação: 01/02/2022.	Galgamento na parte central da barragem, provocando brecha e liberando todo o volume armazenado para jusante. Proprietário informa que o reservatório já estava cheio por conta das chuvas, e durante a noite, com o rompimento da barragem a montante, o volume de cheia não foi suportado pelo reservatório, levando ao galgamento.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 284. *
2021 - Acidente 11	Curral de Dentro 06. Empreendedor: Girlena. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): 3. Volume (hm ³): 0,06. Material: Terra. Município/Estado: Curral de Dentro/MG. Data início do evento: 28/12/2021. Data fim do evento: 28/12/2021. Data de identificação: 01/02/2022.	Galgamento na seção central do maciço provocando brecha e esvaziamento de todo o reservatório.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 284. *

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2021 - Acidente 12	Rompimento barragem Matucho. Empreendedor: Companhia de Saneamento de Minas Gerais - Copasa. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra homogênea. Município/Estado: Visconde de rio Branco/MG. Data início do evento: 03/8/2021.	Rompimento de parte do talude lateral da barragem, utilizada para abastecimento de água do município.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: sem informação
2021 - Acidente 13	Rompimento de comporta. Empreendedor: José Carlos Martins. Fiscalizador: IAT/PR. Altura (m): 3,5. Volume (hm ³): 0,023. Material: Terra. Município/ Estado: Piraí do Sul/ PR. Data início do evento: 27/10/2021. Data início do evento: 27/10/2021.	Ocorreu o esvaziamento do reservatório, com rompimento de um lado da comporta.	Houve um alargamento do canal do rio, pela ação da água, cuja área de entorno foi reconstituída pelo empreendedor. Não teve impacto ambiental, nem socioeconômico. Nº de vítimas fatais: Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: nenhuma.
2020 - Acidente 01	PCH Serra das Agulhas. Empreendedor: Sigma Energia S.A. Fiscalizador: ANEEL. Altura (m): 20,50. Volume (hm ³): 3,95. Material: Terra-Enrocamento. Município/Estado: Monjolos/ MG. Data: de 25/1/2020.	Galgamento da estrutura decorrente das cheias históricas.	Nenhuma vítima fatal.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 02	Rompimento da Barragem Bom Jesus I. Empreendedor: Engequipo Engenharia Ltda. Fiscalizador: INEMA/BA. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra. Município/ Estado: Mata de São João. Data: 25/3/2020.	A barragem sofreu galgamento e subsequente erosão do aterro da barragem devido a fortes chuvas registradas na região.	Nenhuma vítima fatal.
2020 - Acidente 03	Rompimento da Barragem Salu. Empreendedor: Superintendência de Desenvolvimento Industrial e Comercial – SUDIC (Secretaria de Desenvolvimento Econômico – SDE). Fiscalizador: INEMA/BA. Altura (m): 0,010315 (estimado) Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra. Município/Estado: Simões Filho/BA. Data início do evento: 04/05/2020. Data fim do evento: 04/05/2020. Data de identificação: 04/05/2020.	A barragem sofreu galgamento e subsequente erosão do aterro da barragem devido a fortes chuvas registradas na região.	A água destruiu parte de uma estrada de terra, arrastou diversas árvores e parte do barranco do córrego. Foi informado também que ... “os danos foram pontuais, somente no entorno da parte baixa da represa. Não há casa no entorno do local afetado e não há informações de vítimas ou de danos a propriedade de terceiros. Existe uma comunidade com aproximadamente 1.000 pessoas, porém não foi afetada diretamente. A lavoura foi, em parte, destruída”.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
<p>2020 - Acidente 04</p>	<p>Rompimento da barragem Pontal em Quiterianópolis, CE. Empreendedor: Prefeitura Municipal de Quiterianópolis. Fiscalizador: SRH/CE. Altura (m): 11 m. Volume (hm³): 2,20 hm³. Material: Terra Homogênea. Município/Estado: Quiterianópolis/ CE. Data início do evento: 16/03/2020. Data fim do evento: 16/03/2020. Data de identificação: 17/03/2020.</p>	<p>Decorrentes das fortes chuvas na região, houve a ruptura de 5 barramentos a montante. O rompimento em cadeia desses empreendimentos situados a montante gerou uma rápida elevação do nível de água no reservatório, e devido a obstrução do sangradouro ocasionado pela presença de densa vegetação, a estrutura do maciço não suportou o volume aportado e rompeu. Conforme informado, o açude encontrava-se em nível máximo, vertendo com uma lâmina de 60 cm, aproximadamente. Quando houve o aumento do nível de água, decorrente dos rompimentos a montante, ocorreu galgamento. Suspeita-se que a ruptura da estrutura ocorreu pela ombreira esquerda, onde já havia sido identificado uma grande erosão.</p>	<p>Nenhuma vítima fatal.</p>

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 05	Rompimento de barramentos em Hidrolândia, CE. Empreendedor: Sem informação. Fiscalizador: SRH/CE. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra Homogênea. Município/Estado: Hidrolândia/ CE. Data início do evento: 25/03/2020. Data de identificação: 25/03/2020.	As fortes chuvas ocorridas em Hidrolândia na madrugada do dia 25/03/2020 ocasionaram a elevação do nível de dois rios na região: rio Macacos, que deságua no rio Acaraú, e o rio Batoque, que transpassa a sede do município e deságua no açude Araras. Devido ao aumento do volume em um curto período, alguns barramentos de pequeno porte romperam.	Sem informações de vítima fatal e pessoas afetadas.
2020 - Acidente 06	Galgamento 1. Empreendedor: Gisto Pontini. Fiscalizador: AGERH/ES. Altura (m): 5 m. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra homogênea. Município/Estado: Rio Novo do Sul - ES. Data início do evento: 19/01/2020. Data fim do evento: 20/01/2020. Data de identificação: 23/01/2020.	Reservatório operando em nível máximo. Fortes chuvas. Galgamento.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 8

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 07	Galgamento 2. Empreendedor: Gisto Pontini. Fiscalizador: AGERH/ES. Altura (m): 4 m. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra homogênea. Município/Estado: Rio Novo do Sul - ES. Data início do evento: 19/01/2020. Data fim do evento: 20/01/2020. Data de identificação: 23/01/2020.	Reservatório operando em nível máximo. Fortes chuvas. Galgamento.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 8
2020 - Acidente 08	Galgamento 3. Empreendedor: Gisto Pontini. Fiscalizador: AGERH/ES. Altura (m): 4 m. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra homogênea. Município/Estado: Rio Novo do Sul - ES. Data início do evento: 19/01/2020. Data fim do evento: 20/01/2020. Data de identificação: 23/01/2020.	Reservatório operando em nível máximo. Fortes chuvas. Galgamento.	Nenhuma vítima fatal.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 09	Galgamento 4. Empreendedor: Vagner Luis Moser Vique. Fiscalizador: AGERH/ES. Altura (m): 2,5m. Volume (hm³): sem informação. Material: Terra homogênea. Município/Estado: Rio Novo do Sul - ES. Data início do evento: 19/01/2020. Data fim do evento: 20/01/2020. Data de identificação: 23/01/2020.	Reservatório operando em nível máximo. Fortes chuvas. Galgamento.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 5
2020 - Acidente 10	Rompimento de Barragem do condomínio Paquetá. Empreendedor: Associação do Condomínio Paquetá. Fiscalizador: SEMAD/GO. Altura (m): \cong 6 metros. Volume (hm³): \cong 0,027 hm³. Material: Terra. Terra homogênea. Município/Estado: Catalão/GO. Data início do evento: 29/01/2020. Data fim do evento: 30/01/2020. Data de identificação: 29/01/2020.	Maciço do barramento sofreu rompimento na sua parte central. A rede de esgoto do condomínio estava instalada na crista a 60 cm de profundidade. Foi feita a construção de um muro na parte direita do talude. Existia a presença de vegetação no talude à jusante. Não foi possível verificar se a barragem possuía sistema de descarga de fundo. Existia apenas dois extravasores laterais (lado esquerdo e direito).	Rompimento na sua parte central, causando degradação ambiental, e contribuindo para o rompimento de mais duas barragens à jusante e para a sobrecarga dos demais barramentos à jusante. Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 2 famílias. Danos financeiros: R\$ 50.000 (relativo a multas aplicadas pelo acidente).

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 11	Rompimento de Barragem 2 da Fazenda Santa Cruz. Empreendedor: Leandro Alcântara Ferreira. Fiscalizador: SEMAD/GO. Altura (m): \cong 3 metros. Volume (hm ³): \cong 0,00315 hm ³ . Material: Terra homogênea. Município/Estado: Município/Estado: Catalão/GO. Data início do evento: 29/01/2020 Data fim do evento: 30/01/2020. Data de identificação: 29/01/2020.	Foi constatado que o rompimento se deu em sua parte central. Observou-se indícios de galgamento. Verificou-se a presença de trincas e rachaduras. Existia a presença de vegetação no talude.	Foi constatado que o rompimento se deu em sua parte central, causando degradação ambiental, e contribuindo para o rompimento de uma barragem à jusante e para a sobrecarga dos demais barramentos à jusante. Danos financeiros: R\$ 5.000 (relativo à multa aplicada pelo acidente).
2020 - Acidente 12	Rompimento de Barragem da Fazenda Santa Cruz. Empreendedor: Leandro Alcântara Ferreira. Fiscalizador: Semad/GO. Altura (m): \cong 3 metros. Volume (hm ³): \cong 0,0102 hm ³ . Material: Terra homogênea. Município/Estado: Catalão/GO. Data início do evento: 29/01/2020. Data fim do evento: 30/01/2020. Data de identificação: 29/01/2020.	A barragem recebeu todo o volume de duas barragens que romperam a montante. Observou-se indícios de galgamento. Existia a presença de vegetação no talude.	Contribuiu para a sobrecarga dos demais barramentos à jusante. Danos financeiros: R\$ 5.000 (relativo à multa aplicada pelo acidente).

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 13	Rompimento de barragem da propriedade do Sr. Luís Antônio. Empreendedor: Luís Antônio do Nascimento LAN Negócios Imobiliários EIRELI-EPP. Fiscalizador: Semad/GO. Altura (m): \cong 5 metros. Volume (hm ³): \cong 0,006 hm ³ . Material: Terra homogênea. Município/Estado: Caturai/GO. Data início do evento: 18/04/2020. Data fim do evento: 19/04/2020. Data de identificação: 23/04/2020.	Havia um alambrado e um poste de iluminação no maciço da barragem, e ainda a presença de vários pontos de perfuração. Foi verificado a presença de várias árvores de pequeno porte no talude a jusante. A barragem possuía como sistema de descarga de fundo uma tubulação de PVC que provavelmente foi subdimensionada. O rompimento da barragem ocorreu no meio do talude. Houve grande precipitação no dia do acidente, o que pode ter contribuído para tal.	Nenhuma vítima fatal. Danos financeiros: Total = R\$ 15.000,00 (quinze mil reais) Sendo: R\$ 5.000,00 (cinco mil reais) – Por acumular água sem outorga de uso dos recursos hídricos. R\$ 10.000,00 (dez mil reais) – Por construir e fazer funcionar barragem sem licença ambiental.
2020 - Acidente 14	Rompimento da barragem da fazenda Beira Lago/das Flores. Empreendedor: Beatriz Rocha Gonçalves Prado Pratus. Fiscalizador: SEMAD/GO. Altura (m): \cong 10,2 metros. Volume (hm ³): \cong 0,0354 hm ³ . Material: Terra compactada – Solo - Arenoso. Município/Estado: Água limpa - GO. Data início do evento: 29/02/2020. Data fim do evento: 29/02/2020. Data de identificação: 02/03/2020.	Na vistoria observou-se que o solo é inadequado para este tipo de edificação, e que a propriedade se posiciona entre uma formação montanhosa e uma planície de deságue da bacia de um manancial, contribuindo para que a forte chuva ocorrida na região alcançasse o barramento com muito volume e velocidade, sendo decisivo para o rompimento. O rompimento do barramento foi recorrente.	A estrutura estava situada a 600m do Rio Piracanjuba, que absorveu todo o volume de água decorrente do rompimento da barragem. Não foram registrados danos ambientais significativos. Nenhuma vítima fatal. Danos financeiros: R\$ 20.000,00.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
<p>2020 - Acidente 15</p>	<p>Rompimento da Barragem Fazenda Estiva 1. Empreendedor: Ronaldo José Brandão / Eudes Alves dos Passos. Fiscalizador: SEMAD/GO. Altura (m): \cong 5 metros. Volume (hm^3): \cong0,043198 hm^3. Material: Terra compactada. Município/Estado: Hidrolina-GO. Data início do evento: 07/11/2020. Data fim do evento: 07/11/2020. Data de identificação: 11 de novembro de 2020.</p>	<p>Rompimento de barragem na zona rural após grande precipitação pluviométrica na região. Na vistoria foi constatado que: houve um alteamento da crista da barragem de aproximadamente 2 metros; o extravasor próximo da ombreira esquerda estava completamente obstruído por terra; o extravasor próximo da ombreira direita estava parcialmente fechado por um disco de arado; não possuía descarga de fundo. Conclui-se que a conduta de obstruir propositalmente com intuito obter a elevação do nível da água e assim acumular um maior volume foi o principal fator para o galgamento, que se concentrou no meio do maciço e conseqüentemente se deu o colapso da barragem.</p>	<p>A onda de cheia formada pelo rompimento passou sobre a rodovia situada a jusante. A priori não teve danos severos e não foi necessário o bloqueio do fluxo na rodovia. Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 2 propriedades rurais. Danos financeiros: R\$ 69.000,00.</p>

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 16	Rompimento – Barragem Hidrolina – afetada 1. Empreendedor: Aduino Vilela Brandão. Fiscalizador: SEMAD/GO. Altura (m): \cong 2 metros. Volume (hm ³): \cong 0,001729 hm ³ . Material: Terra compactada. Município/Estado: Hidrolina-GO. Data início do evento: 07/11/2020. Data fim do evento: 07/11/2020. Data de identificação: 11 e 12 de novembro de 2020.	Barragem situada a jusante de um rompimento de outra barragem após grande precipitação pluviométrica na região. Na vistoria foi constatado que: possuía um maciço de terra inferior a 4 metros de altura, não possuía dispositivo de descarga de fundo, e todo excedente passava pelo rebaixamento do maciço (soleira livre) do lado esquerdo da barragem.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 2 propriedades rurais. Danos financeiros: R\$ 14.000.
2020 - Acidente 17	Rompimento – Barragem Hidrolina – afetada 2. Empreendedor: Jairo Alves Miranda. Fiscalizador: SEMAD/GO. Altura (m): \cong 3 metros. Volume (hm ³): \cong 0,0139923 hm ³ . Material: Terra compactada. Município/Estado: Hidrolina-GO. Data início do evento: 07/11/2020. Data fim do evento: 07/11/2020. Data de identificação: 11 e 12 de novembro de 2020.	Rompimento decorrente do colapso de duas barragens a montante na zona rural após grande precipitação pluviométrica na região. Na vistoria foi constatado que: em razão ao rompimento do barramento 1 acrescido com o volume da barragem 2 ambas no leito do Córrego Raizama, também conhecido como Estiva. A estrutura física da barragem ficou destruída, onde parte do maciço (esquerda) foi levado pela onda. A barragem não dispunha de sistema de descarga de fundo e havia apenas um extravasor no lado esquerdo composto por duas tubulações de aço galvanizado de 60 cm.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 1 propriedade rural.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 18	Rompimento- Barragem Fazenda São Lourenço. Empreendedor: Edson Guimarães de Faria. Fiscalizador: SEMAD/GO. Altura (m): \cong 8 metros. Volume (hm ³): \cong 0,343217hm ³ . Material: Enrocamento (com parte da base do maciço apoiada sobre uma rocha). Município/Estado: Pontalina-GO. Data início do evento: 04/01/2020. Data fim do evento: 04/01/2020.	Conforme o Laudo de Perícia Criminal as causas do rompimento foram: ocorrência de uma precipitação rara, muito volumosa; possivelmente não havia projetos de fundação e executivos da barragem, e esta foi executada por mão de obra não habilitada; subdimensionamento do extravasor ativo e do extravasor seco; não executou manutenção ou manutenção ineficaz nos sifões de descarga; execução de uma barreira fixa, em alvenaria e sacas de minério que inviabilizaram a operação de controle do nível da água no extravasor ativo.	Foi constatado que o maciço do barramento sofreu rompimento na ombreira esquerda do talude causando intensa degradação ambiental, além de diversos danos econômicos e sociais a jusante. Total de pessoas afetadas: 02 pessoas. Nenhuma vítima fatal. Danos financeiros: R\$ 95.000,00.
2020 - Acidente 19	Barragem Zumbi. Empreendedor: Não identificado. Fiscalizador: Fiscalizador: Apac/PE. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra. Município/Estado: ARCOVERDE / PE. Data início do evento: 27/03/2020. Data fim do evento: 29/03/2020. Data de identificação: 30/03/2020.	Chuvas intensas ocorreram no mês de março em vários pontos do Agrestão e Sertão de Pernambuco ocasionando precipitações acumuladas da ordem de 200 a 300 mm entre 24 e 48 h. Tais eventos intensificaram problemas em pequenas barragens construídas sem o devido dimensionamento hidráulico.	Nenhuma vítima fatal. Danos financeiros: Não Informado. Total de pessoas afetadas: Desconhecido.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 Acidente 20	Barragem das Antas. Empreendedor: Companhia Agropecuária do Arame. Fiscalizador: Apac/PE. Altura (m): 8,00m. Volume (hm³): 0,350. Material: Terra. Município/Estado: SAIRÉ / PE. Data início do evento: 14/06/2020. Data fim do evento: 15/06/2020. Data de identificação: 15/06/2020.	Rompimento da barragem em função de galgamento ocasionado a partir de fortes chuvas ocorridas na bacia hidrográfica, associados a possíveis problemas construtivos e recalques na crista.	Após o rompimento houve rompimento de uma barragem de menor porte, destruição de uma edificação que estava em construção, degradação de uma propriedade privada e estradas vicinais. Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: Não quantificado. Danos financeiros: Não informado.
2020 Acidente 21	Barragem Sítio Caldeirão. Empreendedor: Prefeitura Municipal de Brejo da Madre de Deus. Fiscalizador: Apac/PE. Altura (m): 15 m. Volume (hm³): 0,9. Material: Terra. Município/Estado: Brejo da Madre de Deus/PE. Data início do evento: 15/03/2020. Data fim do evento: Não informado.	Rompimento da barragem na seção principal nas proximidades do leito do rio, após ocorrência de chuvas intensas.	O rompimento da barragem causou o desabamento de muros e tumbas de um cemitério, havendo inclusive exposição de caixões. Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: Não informado. Danos financeiros: Não informado.
2020 Acidente 22	Rompimento Barragem de Água do Córrego do Açude – Sítio Olhos D'água. Empreendedor: Sancho J. Matias. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): 3 m. Volume (hm³): 6.600 m³. Material: Terra. Município/Estado: Patos de Minas/MG. Data início do evento: 26/05/20. Data fim do evento: 26/05/20. Identificação: 26/05/20.	Barragem possuía mais de 30 anos. Foram identificadas rachaduras no maciço de terra e como medida emergencial iniciou obras de contenção, no entanto, o maciço veio a romper.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 6. Após os levantamentos feitos pela equipe policial de Meio Ambiente verificou-se que há indícios de cometimento do crime tipificado Lei de Crimes Ambientais, em desfavor do proprietário pelo ato de danificar a área considerada de preservação permanente.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 23	Rompimento de Barragem de Água – Nome desconhecido. Empreendedor: Não identificado. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: sem informação. Município/Estado: Medina/MG. Data início do evento: 23/01/2016. Data fim do evento: 23/01/2016. Data de identificação: 23/01/2016.	Na época ocorriam fortes chuvas na região.	Rompimento de uma barragem atingindo a BR-116 e inundando 1,5m acima da altura da pista, sendo interditada. Houve grande engarrafamento no local em virtude da interdição da pista e uma Toyota/Hilux foi coberta pelas águas.
2020 - Acidente 24	Rompimento de Barragem de Água na Fazenda do Córrego do Retiro. Empreendedor: Walter Teria Rompido. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): 12 m. Volume (hm ³): 288.000 m3. Material: Terra. Município/Estado: Araxá/MG. Data início do evento: 27/02/2020. Data fim do evento: 27/02/2020. Data de identificação: 28/02/2020.	Não informado.	A jusante houve dano à APP, num comprimento estimado de 3 km e largura e média de 6 metros. Não houve registro de mortandade de fauna aquática e nem de desabastecimento de água em propriedades lindeiras a jusante. Também não houve registro de danos ao patrimônio privado. Houve alteração visual da água devido ao aumento de turbidez decorrente de partículas carregadas. Também foi identificado o transporte de troncos. Nº de vítimas fatais: Sem informações.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
<p>2020 - Acidente 25</p>	<p>Rompimento de Barragem de Água Fazenda Gravatá - Antiga "Fazenda do Japonês". Empreendedor: Fazenda gravata minas Brasil eireli - TO. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): 12 m. Volume (hm³): 87.300 m3. Material: Terra. Município/Estado: Novo Cruzeiro/MG. Data início do evento: 30/03/2020. Data fim do evento: 30/03/2020. Data de identificação: 30/03/2020.</p>	<p>Rompimento de barragem devido a intervenção de uma máquina pá carregadeira, a qual estava realizando manutenção do maciço, o que levou ao rompimento do maciço.</p>	<p>Destruição de 5 (cinco) pontes no Córrego da Saudade, impedindo o acesso de moradores. O rompimento da estrutura afetou a vegetação nativa e causou danos à propriedade de aproximadamente 30 famílias localizadas na comunidade de Córrego da Saudade, constituídas por pequenas propriedades rurais, agricultores familiares que se distribuem ao longo do vale formado às margens do curso d'água homônimo. Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: 30 famílias (aproximadamente). Houve galgamento de mais 2 barramentos localizadas à jusante, comprometendo as estruturas.</p>
<p>2020 - Acidente 26</p>	<p>Rompimento de Barragem de Água da Fazenda Nossa Senhora de Lourdes. Empreendedor: Jurandir Garcia Tristão. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): sem informação. Volume (hm³): 19.315m3. Material: Terra. Município/Estado: Ituitaba/MG. Data início do evento: 13/02/2020. Data fim do evento: 13/02/2020.</p>	<p>Não foi possível identificar a causa do rompimento da barragem.</p>	<p>Houve destruição de uma estrada vicinal, vegetação típica de APP e degradação ambiental em uma área estimada em 3.000 m, carreando solo para o leito do afluente e suas margens do trecho atingido. Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: Nenhuma. Lavrados autos de infração decorrentes dos danos ambientais causados.</p>

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 - Acidente 27	Rompimento de Barragem de Água em Aricanduva. Empreendedor: desconhecido. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra. Município/Estado: Aricanduva /MG. Data início do evento: 23/01/2020. Data fim do evento: 23/01/2020. Data de identificação: 23/01/2020.	São 3 barramentos sequenciais de diferentes propriedades, nas quais foi constatado, de montante para jusante, o rompimento do vertedouro da primeira e da segunda estruturas. Na terceira estrutura, observou-se apenas o carreamento de material brejoso (solo e plantas aquáticas) que ficou acumulado na represa. Não houve rompimento desta estrutura, apenas um processo erosivo em seu vertedouro.	Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: Nenhuma. Não houve remoção de população.
2020 - Acidente 28	Rompimento de Barragem de Água Refúgio Vida Silvestre Macaúbas em Santa Luzia. Empreendedor: desconhecido. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra. Município/Estado: Santa Luzia /MG. Data início do evento: 28/01/2020. Data fim do evento: 28/01/2020. Data de identificação: 28/01/2020.	Não informada a causa do rompimento da barragem.	Como consequência imediata o córrego André Quice, afluente do rio das Velhas, foi assoreado. Nenhuma vítima fatal. Total de pessoas afetadas: Nenhuma. Não houve remoção de população. Não existem residências nas proximidades e o local é de difícil acesso.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 Acidente 29	- Rompimento de Barragem em Arinos. Empreendedor: desconhecido. Fiscalizador: sem informação. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): sem informação. Material: sem informação. Município/Estado: Arinos /MG. Data início do evento: 05/3/2020. Data fim do evento: 05/3/2020. Data de identificação: sem informação.	Não há informações de causa do rompimento de barragem.	Não há informações de consequências do rompimento de barragem.
2020 Acidente 30	- Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.
2020 Acidente 31	- Barragem particular. Empreendedor: Não informado. Fiscalizador: SRH CE. Altura (m): não informado. Material: não informado. Volume (hm ³): não informado. Município/Estado: Quiterianópolis /CE. Data: de 16/03/2020.	Não informada a causa do rompimento em cascata de 5 açudes.	Rompimento em cascata de cinco açudes.
2020 Acidente 32	- Barragem particular. Empreendedor: Não informado. Fiscalizador: AGERH ES. Altura (m), material e volume (hm ³): não informados. Município/Estado: Iconha /ES. Data: de 30/01/2020.	Não informada a causa do rompimento da barragem.	Não há informações de consequências do rompimento de barragem.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 Acidente 33	- Barragem particular. Empreendedor: Não informado. Fiscalizador: SEMAD GO. Altura (m): não informado. Material: não informado. Volume (hm ³): não informado. Município/Estado: Buriti Alegre /GO. Data: de 28/02/2020.	Não informada a causa do rompimento da barragem.	Não há informações de consequências do rompimento de barragem.
2020 Acidente 34	- Represa da comunidade rural de fumaça. Empreendedor: Não informado. Fiscalizador: IGAM MG. Altura (m): não informado. Material: não informado. Volume (hm ³): não informado. Município/Estado: Orizânia /MG. Data: de 24/01/2020.	Volume de chuvas.	Não há informações de consequências do rompimento de barragem.
2020 Acidente 35	- Barragem particular. Empreendedor: Não informado. Fiscalizador: IGAM MG. Altura (m): não informado. Material: não informado. Volume (hm ³): não informado. Município/Estado: Orizânia /MG. Data: de 30/01/2020.	Não informada a causa do rompimento da barragem.	Não há informações de consequências do rompimento de barragem.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2020 Acidente 36	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.
2019 Acidente 01 (11/07/2019)	Barragem Quati. Empreendedor: Prefeitura Municipal de Pedro Alexandre. Fiscalizador: INEMA/BA. Altura (m): 7,65. Volume (hm ³): 0,597. Material: Terra. Município/Estado: Pedro Alexandre/BA. Data: de 11/7/2019.	A barragem sofreu galgamento e subsequente erosão do aterro da barragem devido às fortes chuvas registradas na região.	Nenhuma vítima fatal.
2019 Acidente 02 (27/03/2019)	Barragem Salgadinho. Empreendedor: Não informado. Fiscalizador: SRH/CE. Altura (m): Sem informação. Volume (hm ³): Sem informação. Material: Sem informação. Município/Estado: Sobral/CE. Data: de 27/3/2019.	Não informada a causa do rompimento da barragem.	Sem informações de vítimas fatais.
2019 Acidente 03 (29/03/2019)	Barragem Passagem da Onça. Empreendedor: Não informado. Fiscalizador: SRH/CE. Altura (m): Sem informação. Volume (hm ³): Sem informação. Material: Sem informação. Município/Estado: Viçosa do Ceará/CE. Data: de 29/3/2019.	Não informada a causa do rompimento da barragem.	Sem informações de vítimas fatais.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2019 - Acidente 04 (17/03/2019)	Rompimento da barragem Mimosos. Empreendedor: Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco - IPA. Fiscalizador: APAC/PE. Altura (m): entre 10 e 14. Volume (hm ³): sem informação. Material: Terra. Município/Estado: Capoeiras/PE. Data: 17/3/2019.	Rompimento pelo vertedouro em alvenaria. Presença de erosões sobre a crista, os taludes e encontro com ombreira.	Nenhuma vítima fatal.
2019 - Acidente 05 (18/11/2019)	Rompimento de Barragem. Empreendedor: Camila Marília Marques Carvalho. Fiscalizador: IGAM/MG. Altura (m): sem informação. Volume (hm ³): 0,005. Material: Terra. Município/Estado: Moeda/MG. Data: 18/11/2019.	Rompimento da barragem em decorrência de não suportar o elevado volume de água da chuva.	Constatou-se que parte do maciço foi levada e que houve apenas danos materiais. Nenhuma vítima fatal.
2019 - Acidente 06 (25/01/2019)	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.
2019 - Acidente 07 (22/11/2019)	Barragem de João Falqueto. Empreendedor: João Falqueto. Fiscalizador: AGERH/ES. Altura (m): 4,1. Volume (hm ³): 0,008. Material: Terra Homogênea. Município/Estado: Serra/ES. Data: 22/11/19.	O acidente ocorreu devido ao grande volume de chuvas que ocorreu na região, causando o galgamento da barragem e o início do processo erosivo do talude de jusante que levou ao rompimento do maciço.	Nenhuma vítima fatal.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2019 - Acidente 08 (01/10/2019)	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.
2019 - Acidente 09 (29/03/2019)	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.
2019 - Acidente 10 (25/03/2019)	Barragem Malhada. Empreendedor: Agência Tocantinense de Saneamento - ATS Fiscalizador: NATURATINS/TO. Altura (m): 6,30. Volume (hm³): 0,01. Material: Terra. Município/Estado: Santa Rosa do Tocantins/TO. Data: 25/3/2019.	Rompimento do maciço de terra devido galgamento sendo que foram identificados vários problemas que possam ter contribuído para o evento como infiltrações, erosões e redução da capacidade de escoamento do extravasador.	Nenhuma vítima fatal.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
<p>2019 - Acidente 11 (27/03/2019)</p>	<p>Barragem Balneário Iracema de Mito. Empreendedor: Prefeitura Municipal de Bandeirantes do Tocantins. Fiscalizador: NATURATINS/TO. Altura (m): 5,00. Volume (hm³): 0,03. Material: Terra. Município/Estado: Bandeirantes do Tocantins/TO. Data: 27/3/2019.</p>	<p>Houve um sinistro no local do vertedouro, então composto por 3 manilhas de 1,00m de diâmetro. Após o incidente as estruturas ficaram danificadas, onde ocorreu um solapamento da crista e estrutura do vertedouro de cerca de 0,74 m, com largura de 7,90m à montante, 6,20m na crista e 10,20m na borda da crista com o talude de jusante, rompimento do piso e laterais da saída do vertedouro que era constituído por degraus dissipadores de energia do fluxo de água corrente à jusante do vertedouro. Acreditamos que com os indícios e relatos apresentados possivelmente o sinistro tenha sido ocasionado inicialmente por infiltração nas proximidades e entorno das manilhas (aproximação) e posteriormente tenha avançado para a ocorrência de piping neste local.</p>	<p>Nenhuma vítima fatal.</p>

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2019 Acidente 12 (01/11/2019)	- Açude Alto Amorim. Empreendedor: Não informado. Fiscalizador: SEMA/RS. Altura (m): Sem informação. Volume (hm ³): Sem informação. Material: Sem informação. Município/Estado: Cachoeira do Sul/RS. Data: de 01/11/2019.	Não informada a causa do rompimento da barragem.	Sem informações de vítimas fatais.
2018 Acidente 01	- Rompimento da barragem CGH Agromar. Acidente. Empreendedor: Grupo Bom Futuro. Fiscalizador: ANEEL. Altura (m) 04. Material: Terra. Município/Estado: São José do Rio Claro / MT. Data: 04/02/2018.	Fortes chuvas.	Danos principalmente em 0,5ha da Área de Preservação Permanente - APP, perdas de uma variedade significativa da fauna aquática e danos localizados na fazenda onde a barragem se localiza. Sem vítimas fatais.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
<p>2018 - Acidente 02</p>	<p>Rompimento de barragem Fazenda Boa Sorte. Acidente. Empreendedor: DANIEL ANVERSA - FAZENDA BOA SORTE. Fiscalizador: SEMAS/PA. Altura (m): 10. Volume (hm³): 0,53. Material: Terra. Município/Estado: Paragominas / PA. Data: 12/04/2018.</p>	<p>Rompimento de três barragens em cascata de acumulação de água no rio Paragominas. Foi indicada como uma das causas prováveis para a ocorrência do acidente, a incidência de fortes chuvas ocorridas na região durante dias consecutivos, chegando a 110 mm com duração de uma hora, na madrugada do dia 12/04/2018, o equivalente a 71,42% do valor mensal previsto para essa região, inundando 40% da cidade. Além disso, foi destacado em relatório de vistoria, que o desastre ocorrido na cidade de Paragominas, não foi ocasionado em decorrência de apenas um fator e sim, por um conjunto deles, tais como: eventos climáticos, rompimento de barragem, desmatamento de mata ciliar e ocupação irregular do solo.</p>	<p>Cancelamento de duas outorgas emitidas para o empreendimento, tendo em vista o desastre ambiental ocorrido em função do rompimento da barragem. Nº de vítimas fatais: 2.</p>

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2018 Acidente 03	Rompimento de 2 barragens na Fazenda Bom Jardim. Acidente. Empreendedor: Vinícius Romano Cândido. Fiscalizador: SECIMA/ GO. Altura (m): 10,00. Volume (hm³): 0,34. Material: Terra. Município/Estado: Piracanjuba / GO. Data: 23/04/2018.	Descobriu-se que a barragem que rompeu primeiro foi alteada, inutilizando os extravasores laterais que havia originalmente.	Degradação ambiental a jusante. Cerca de 1700 metros a jusante havia outra barragem de concreto de pequeno porte que, apesar de boa capacidade escoamento, não conseguiu suportar a onda de cheia e rompeu, causando graves danos materiais a uma residência, a uma ponte de uma rodovia não pavimentada e a toda a área de preservação permanente. A outorga da barragem rompida foi revogada, e o empreendedor foi autuado.
2017 Acidente 01	Data: 06/1/2017, Nome da barragem: Rincão dos Kroeff, UF: RS, Empreendedor: Não informado, Órgão fiscalizador: SEMA/RS.	Causa provável: cheia.	Não informada.
2017 Acidente 02	Data: 16/2/2017, Nome da barragem: Cacimba Nova, UF: PE, Empreendedor: Ministério da Integração Nacional, Órgão fiscalizador: ANA.	Causa provável: percolação pela fundação.	Não informada.
2017 Acidente 03	Data: 03/3/2017, Nome da barragem: Barreiros, UF: PE, Empreendedor: Ministério da Integração Nacional, Órgão fiscalizador: ANA.	Causa provável: percolação pela fundação.	Não informada.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2017 Acidente 04	Data: 01/12/2017, Nome da barragem: Lageado, UF: MS, Empreendedor: Luciano Loureiro, Órgão fiscalizador: IMASUL/MS.	Causa provável: galgamento.	Não informada.
2016 Acidente 01	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.
2016 Acidente 02	Data: 04/01/2016, Nome da barragem: Alto Grande, UF: BA, Empreendedor: PM de Araci, Órgão fiscalizador: INEMA/BA.	Causa provável: cheia.	Não informada.
2016 Acidente 03	Data: 20/02/2016, Nome da barragem: Fazenda Felícia (2 barragens), UF: GO, Empreendedor: Alcides Basílio de Oliveira, Órgão fiscalizador: SECIMA/GO.	Sem informação.	Não informada.
2016 Acidente 04	Data: 24/08/2016, Nome da barragem: Fazenda Guavirova, UF: PR, Empreendedor: Ivo Polinário, Órgão fiscalizador: ÁGUAS PARANA/PR.	Causa provável: cheia.	Não informada.
2016 Acidente 05	Data: Sem Informação, Nome da barragem: Balneário Ayrton Senna, UF: MS, Empreendedor: Sem informação, Órgão fiscalizador: IMASUL/MS.	Causa provável: cheia.	Não informada.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2015 - Acidente 01	Data: 12/12/2014, Nome da barragem: Barragem de Pesque-Pague, UF: MS, Empreendedor: Sem informação, Órgão fiscalizador: IMASUL.	Causa provável: cheia.	Não informada.
2015 - Acidente 02	Data: 07/05/2015, Nome da barragem: UHE Cachoeira Caldeirão, UF: AP, Empreendedor: EDP – Energias do Brasil SA, Órgão fiscalizador: ANEEL.	Causa provável: cheia.	Não informada.
2015 - Acidente 03	Data: 06/06/2015, Nome da barragem: PCH Inxu, UF: MT, Empreendedor: Inxu Geradora e Comercializadora de Energia Elétrica S/A, Órgão fiscalizador: ANEEL.	Causa provável: erosão interna.	Não informada.
2015 - Acidente 04	Data: 15/07/2015, Nome da barragem: Propriedade de Nei Zampieri, UF: SC, Empreendedor: Nei Carlos Pedro Zampieri, Órgão fiscalizador: SDS.	Causa provável: erosão interna.	Não informada.
2014 - Acidente 01	Data: 22/02/2014, Nome da barragem: Agropecuária Buritis, UF: MT, Empreendedor: Agropecuária Buritis, Órgão fiscalizador: SEMA-MT.	Sem informação.	Não informada.

(Continuação)

Identificação no RSB	Dados das barragens acidentadas	Causas reportadas	Consequências reportadas
2014 - Acidente 02	Data: 05/03/2014, Nome da barragem: Fazenda Boa Vista do Uru, UF: GO, Empreendedor: Roserval Alves Moreira, Órgão fiscalizador: SEMARH-GO.	Causa provável: galgamento.	Não informada.
2014 - Acidente 03	Data: 29/03/2014, Nome da barragem: UHE Santo Antônio do Jari, UF: AP, Empreendedor: Energias do Brasil SA, Órgão fiscalizador: ANEEL.	Causa provável: galgamento.	Não informada.
2014 - Acidente 04	Data: 27/06/2014, Nome da barragem: Vacaro, UF: SC, Empreendedor: Indústria de maçãs Vacaro, Órgão fiscalizador: SDS-SC.	Causa provável: galgamento.	Não informada.
2014 - Acidente 05	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.	Acidente não triado por se tratar de barragem de mineração.
2011 - PCH Pedra Furada (05/11/2011)	PCH Pedra Furada – 05/11/2011 – Rompimento da ombreira esquerda da barragem com esvaziamento do lago, de forma gradativa e lenta, acarretando a interrupção da operação em teste das unidades geradoras.	Rompimento da ombreira esquerda da barragem com esvaziamento do lago, de forma gradativa e lenta, acarretando a interrupção da operação em teste das unidades geradoras.	Interrupção da operação em teste das unidades geradoras.

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos conteúdos dos Relatórios de Segurança de Barragens de 2011 a 2021 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

APÊNDICE B – Dificuldades reportadas pelos fiscalizadores brasileiros

Este apêndice foi construído com base nos dados reportadas pelos órgãos fiscalizadores brasileiros no Relatório de Segurança de Barragens da ANA, versão 2020.

Quadro 27 – Dificuldades reportadas pelos fiscalizadores brasileiros

(Continua)

Dados reportados pelos seguintes Estados:	PE	SP	AC	RN	RR	GO	PI	ES	MG	CE	RO	MA	AM	ANA	MT	SC	BA	ANM	AL	PB	AP	PA	CNEN	MS	PR	TO	RJ	ANEEL	RS	MG	Frequência	Frequência Acumulada (%)
Falta de informações técnicas das barragens pelo empreendedor	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x						x	x	x	x					19	26
Projetos inexistentes das barragens	x		x	x				x	x	x					x	x			x	x											10	40
Carência de efetivo técnico especializado em segurança de barragens	x		x		x			x	x		x										x	x									8	51
Falta de contato do responsável legal	x	x		x	x	x	x					x																			7	60
Não compreensão dos dispositivos legais por parte dos empreendedores	x	x		x	x	x	x					x																			7	70
Limitados recursos orçamentários dos empreendedores		x								x				x			x	x									x				6	78
Pandemia Coronavírus											x			x														x	x		4	84

(Continuação)

Dados reportados pelos seguintes Estados:	PE	SP	AC	RN	RR	GO	PI	ES	MG	CE	RO	MA	AM	ANA	MT	SC	BA	ANM	AL	PB	AP	PA	CNEN	MS	PR	TO	RJ	ANEEL	RS	MG	Frequência	Frequência Acumulada (%)
Falta de transparência do empreendedor a fim de classificar e ranquear corretamente as barragens																		x													1	100
Frequência	6	6	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Frequência Acumulada (%)	8	16	22	27	33	38	44	48	52	56	60	64	68	73	75	78	81	84	85	86	88	89	90	92	93	95	96	97	99	100		

Fonte: Elaborada pelo autor com base no conteúdo do Relatório de Segurança de Barragens de 2020 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.