

LIÇÕES APRENDIDAS COM ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS E OBRAS ANEXAS NO BRASIL

Guido Guidicini
Sandro Salvador Sandroni
Flavio Miguez de Mello

Coordenação editorial

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA

Fernanda Laus de Aquino
Leonardo de Oliveira Guerra Deotti
Márcio Bomfim Pereira Pinto
Maristela de Lourdes Barbosa
Patrick Thadeu Thomas

Diretoria de Comunicação do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB)

Autores

Guido Guidicini, Sandro Salvador Sandroni, Flavio Miguez de Melo

Capa e Projeto gráfico

Ursula Fuerstenau

Diagramação

Francielle Franco dos Santos

Revisão

Cláudia Rodrigues Barbosa

Fotos e ilustrações

Arquivo pessoal

O conteúdo apresentado neste Livro foi obtido pelos autores tendo como fontes diversas publicações da imprensa, de entidades públicas e privadas, nacionais ou estrangeiras, todas amplamente incluídas nas referências bibliográficas listadas no livro.

Nem a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) nem o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) poderão ser responsabilizados por informações apostas ou mesmo por supostos erros ou omissões eventualmente existentes no conteúdo aqui publicado.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Mello, Flavio Miguez de

Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragem e obras anexas no Brasil [livro eletrônico]/ Flavio Miguez de Mello, Sandro Salvador Sandroni, Guido Guidicini. -- Rio de Janeiro : Comitê Brasileiro de Barragens, 2021.
PDF

Bibliografia
ISBN 978-65-990860-1-4

1. Acidentes 2. Acidentes - Brasil - Prevenção 3. Barragens 4. Engenharia ambiental 5. Engenharia civil 6. Geologia I. Sandroni, Sandro Salvador. II. Guidicini, Guido. III. Título.

21-82999

CDD-627.8

Índices para catálogo sistemático:

1. Barragens : Acidentes : Prevenção : Engenharia civil 627.8

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

República Federativa do Brasil

Jair Bolsonaro
Presidente da República

Ministério do Desenvolvimento Regional

Rogério Simonetti Marinho
Ministro

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Diretoria Colegiada

Christianne Dias Ferreira
(Diretora-Presidente)

Marcelo Cruz

Oscar Cordeiro de Moraes Netto

Vitor Saback

Joaquim Guedes Corrêa Gondim Filho
(interino)

Ricardo Medeiros de Andrade
(até julho de 2021)

Comitê de Editoração

Vitor Eduardo de Almeida Saback
Diretor

Humberto Cardoso Gonçalves
Joaquim Guedes Corrêa Gondim Filho

Flávio Hadler Tröger
Superintendentes

Rogério de Abreu Menescal
Secretário-Executivo

Equipe Técnica

André Torres Petry

Fernanda Laus de Aquino

Marcio Bomfim Pereira Pinto

Maristela de Lourdes Barbosa

Patrick Thomas
Superintendente

CBDB - Diretoria 2021

Presidente
José Bernardino Botelho

Vice-Presidente
Alberto de Sampaio Ferraz Jardim
Sayão

Diretor-Secretário
Leonardo de Oliveira Guerra Deotti

Diretor de Comunicações
Diego Antônio Fonseca Balbi

Diretor Técnico
Ricardo Aguiar Magalhães

Conselho Deliberativo 2021

Membros Eleitos

Alberto S. F. J. Sayão

Aurélio Alves Vasconcelos

Celso José Pires Filho

Cleber José de Carvalho

Diego Antonio Fonseca Balbi

Étore Funchal de Faria

Geraldo Magela Pereira

Gilberto Tannus Elias

João Francisco A. Silveira

Joaquim Pimenta De Ávila

José Bernardino Botelho

José Marques Filho

Leonardo de Oliveira Guerra Deotti

Patrícia Neves Silva

Paulo Teixeira da Cruz

Ricardo Aguiar Magalhães

Teresa Cristina Fusaro

Walton Pacelli de Andrade

Membros Vitalícios

Brasil Pinheiro Machado

Cássio Baumgratz Viotti

Edilberto Maurer

Ertón Carvalho

Flavio Miguez de Mello

Comissão Fiscal

Paula Luciana Divino

Paulo Victor C. B. Braun

Rafaela Baldi Fernandes

Roberto de O. Facchinetti

Núcleos Regionais

Diretores (2021)

BA - Roberto de Oliveira Facchinetti

CE - Silvrano Adonias Dantas Neto

GO/DF - Habib Sallum

MG - Teresa Cristina Fusaro

NT - Adriano Frutuoso da Silva

PR - Kironi Oliveira Pires

PE - Patrícia Neves Silva

RJ - André Pereira Lima

RS - Lúcia Wilhelm Veras de Miranda

SC - Rafael Fernandes Pereira

SP - Sidnei Ono

Comissões Técnicas Nacionais

Coordenadores

CT 01 - Registro de Barragens
Étore Funchal de Faria

CT 02 - Segurança de Barragens
Carlos Henrique Medeiros

CT 03 - Barragens de Concreto
José Marques Filho

CT 04 - Hidráulica em Barragens
Diego David Baptista de Souza

CT 05 - Barragens de Terra e Enrocamento
Vanda Teresa Costa Malveira

CT 06 - Barragens de Enrocamento com Face de Concreto
Fernando Dias Resende

CT 07 - Barragens de Rejeitos
Joaquim Pimenta de Ávila

CT 08 - Formas de Contratação de Serviços de Engenharia e Construção
Ricardo Hey Andrzejewski

CT 09 - Impacto Ambiental de Barragens e Reservatórios
Sandra Elisa Favorito Raimo

CT 10 - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Técnica
Ricardo Aguiar Magalhães

CT 11 - Obras de Proteção e Contenção de Fluxo de Detritos
Dimitry Znamensky

CT 12 - Usos Múltiplos de Reservatórios
Adriana Verchai De Lima Lobo

CT 13 - Condicionantes Regulatórios à Realização de Barragens e Reservatórios
Raymundo Garrido

Agradecimentos

Os autores são gratos ao Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), nas pessoas que compuseram as duas últimas diretorias eleitas. Seus dirigentes concederam plena confiança no trabalho desenvolvido ao longo dos anos recentes. O mesmo vale para a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por ter incentivado e viabilizado a publicação deste livro, ao abrigo do convênio entre as duas entidades.

Os agradecimentos são extensivos ao Engenheiro Armando José da Silva Neto, especialista em Segurança de Barragens, por ter estruturado a primeira versão do Capítulo 9, que trata da legislação a respeito do tema.

Os autores serão gratos caso forem informados sobre possíveis complementações a serem acrescentadas aos relatos ou sobre eventuais imprecisões decorrentes de inexatidões das fontes consultadas.

Prefácio

Coube a mim a grata tarefa de fazer a apresentação do livro “Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragens e obras anexas no Brasil”. Inicio pelo histórico e pelo longo caminho percorrido até a chegada da sua edição neste ano de 2021.

O tema segurança e acidentes e incidentes em barragens e em estruturas associadas tem sido recorrente nos congressos e em boletins editados pela Comissão Internacional de Grandes Barragens. O mesmo ocorre nos seminários, simpósios e palestras promovidos pelo Comitê Brasileiro de Barragens desde o II Seminário, em 1963. É certo que este assunto deva ser recorrente, pois dele surgem muitas lições que são apresentadas e discutidas em seus diversos aspectos. O resultado é o aprendizado em benefício de toda a sociedade.

O escopo deste trabalho foi objeto de várias publicações internacionais, dentre elas: *Lessons From Dams Accidents* (ICOLD 1974), *Lessons from Dam Incidents – USA* (ASCE 1975), *Deterioration of Dams and Reservoirs* (ICOLD, 1983). Em 1997, o CBGB (agora CBDB) editou a publicação “*Cadastro Brasileiro de Deterioração de Barragens e Reservatórios*”. A iniciativa contou com a participação de 20 profissionais do ramo de Projetos e Construção de barragens no Brasil, liderados pelo então presidente do Comitê, o Professor Flavio Miguez de Mello. Este livro foi resultado da reunião da experiência dos autores e abrangeu diversos tipos de barragens de contenção de água (geração de energia elétrica e usos múltiplos).

A idealização da obra nasceu em 2017, no XXXI Seminário Nacional de Grandes Barragens, realizado em Belo Horizonte, a partir de conversas entre os engenheiros Selmo C. Kuperman e Maria Regina Moretti, do CBDB, Rodrigo Flecha e Fernanda Laus, ambos da ANA. Juntos, concordaram em preparar um livro que contemplasse os diversos acidentes e incidentes em barragens no Brasil.

Durante a vigência do 1º Acordo de Cooperação Técnica (ACT) assinado entre CBDB e ANA, já em 2017, em uma reunião formal do referido ACT, foi estipulada a edição do livro sobre lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragens no Brasil.

A partir desta data foi constituída, no CBDB, uma Comissão para estabelecer as diretrizes do trabalho. Participaram desta etapa o então Presidente do CBDB, Dr. Carlos Henrique Medeiros, o ex-Presidente do CBDB, Flavio Miguez de Mello, o Diretor Ricardo Aguiar Magalhães e o Conselheiro Leonardo de Oliveira Guerra Deotti (agora Diretor).

Foram, então, contatados o Geólogo Guido Guidicini e o Professor Sandro Salvador Sandroni que, juntamente com o Professor Miguez, ficaram responsáveis pela preparação do livro, pois já haviam congregado em aulas de programas de pós-graduação na UFRJ e na PUC-Rio e em palestras, artigos e trabalhos publicados, significativo número de relatos de acidentes e incidentes em barragens e reservatórios.

No final de 2020 e início de 2021, a publicação foi apresentada ao CBDB . A edição traz relatos de mais de 160 barragens e estruturas anexas envolvendo acidentes e incidentes em barragens implantadas do início do século passado até 2021. Devido ao número elevado de casos, a obra foi subdividida em duas partes: A e B.

A Parte A, intitulada de Livro, foi impressa e contém 208 páginas sobre um completo arcabouço que detalha o conteúdo dos relatos e apresenta casos mais emblemáticos das diversas características dos acidentes e incidentes ocorridos em território nacional.

A Parte B congrega os relatos que ficarão em versão digital (em arquivos em pdf) à disposição dos interessados no site do CBDB (em um link). Tal conteúdo é passível de ser revisado pelos autores e acrescido de eventuais relatos adicionais de incidentes que possam vir a ocorrer (com a contribuição de informações aos casos relatados).

O CBDB, cuja missão contempla o desenvolvimento de técnicas ligadas ao planejamento, projeto, construção e manutenção de barragens, reservatórios e estruturas associadas, tem no seu Estatuto, Artigo 2º, Letra f, o seguinte dizer: *“Colaborar com entidades que planejam, constroem ou utilizam barragens e obras conexas com vistas ao aperfeiçoamento de seus métodos de planejar, construir e observar o comportamento dos empreendimentos.”*

Desta forma, o livro apresenta vários casos de falha decorrentes de insuficientes critérios, soluções, investigações de campo e dados hidrológicos confiáveis. Ainda complementam esse rol a não observação adequada dos fenômenos hidráulicos e as falhas nos processos construtivos, de monitoramento, operação e manutenção das barragens.

A obra mostra cada acidente ou incidente com descrição de fontes, efeitos causados, impactos sociais e econômicos decorrentes e, por fim, os remédios propostos e adotados para a recuperação dos danos, transformando os episódios e seus transtornos em lições para o presente e o futuro.

Agradecimentos a todos que participaram deste projeto, em especial aos autores Guido Guidicini, Sandro Salvador Sandroni e Flavio Miguez de Mello.

José Bernardino Botelho
Presidente do CBDB

Introdução

O tema de acidentes e incidentes ocorridos em barragens no Brasil tem sido abordado com frequência pelo meio técnico em virtude de sua relevância para a segurança das populações ribeirinhas e por suas consequências em termos econômicos. O principal foro de debates tem sido os eventos organizados por nossas associações de classes, dentre elas o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), a Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações (ABMS), o Comitê Brasileiro de Mecânica das Rochas (CBMR) e o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). Quem consultar a bibliografia técnica nacional, encontrará uma extensa relação de artigos sobre o assunto. Trata-se, na maioria das vezes, de depoimentos pontuais, relacionados a casos específicos, que ganharam notoriedade pela dimensão do evento e/ou por seus reflexos sobre as vizinhanças, ou sobre a economicidade da obra.

Poucos são os relatos de natureza mais abrangente. E, mesmo esses, revelam uma tendência a definir limites regionais no registro de eventos em detrimento de casos ocorridos em regiões mais afastadas. Por exemplo, o cadastro publicado pelo Comitê Brasileiro de Grandes Barragens em 1995, contendo o relato de 136 casos de deterioração registrados em 63 barragens, somente se referiu a cinco casos na região Nordeste e um caso na região Norte do País. Todos os outros eram das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. De forma similar, a literatura técnica produzida no Nordeste tem apresentado viés regionalista.

Diante do caráter disperso do registro de acidentes e incidentes ocorridos no território nacional, os autores se dedicaram à coleta e garimpagem de eventos através do registro na literatura técnica e em órgãos da imprensa, bem como nos demais meios de comunicação. Com alguma frequência, eventos ocorridos em regiões afastadas dos centros urbanos teriam passado despercebidos, mas chegaram a ser noticiados em sites e *blogs* locais por terem afetado alguma via de comunicação. Na maioria dos casos, esses eventos saíram do noticiário logo a seguir, deixando um escasso registro sobre as circunstâncias em que ocorreram.

Para cada caso abordado no livro, os autores desenvolveram um dossiê (ou relato), registrando, quando possível, os principais aspectos dos eventos. Basicamente, podem-se distinguir três níveis de informação disponível. O primeiro nível, que abrangeu cerca de 40% dos casos, decorreu da existência de informações suficientes para permitir a elaboração de um relato com maior aprofundamento técnico. O segundo nível, também com cerca de 40% dos casos, se caracterizou por informações técnicas escassas, de modo que o quadro retratado no relato deixou de trazer respostas esclarecedoras a respeito de importantes aspectos do ocorrido. O terceiro nível foi oferecido, como referido acima, pelos órgãos de imprensa e divulgação, mas esses relatos carecem de informações técnicas. O mérito desta terceira fonte foi o de não deixar passar em brancas nuvens eventos em locais ermos.

O livro apresenta relatos de acidentes e incidentes em 160 barragens brasileiras e/ou em suas obras anexas, sendo que em algumas barragens há mais de um caso apresentado. Trata-se do conjunto de casos que maior divulgação recebeu, dentro da perspectiva dos três níveis de informação acima referidos. Tantos e tantos outros casos deixaram de ser notificados pela ausência ou absoluta escassez de informações básicas.

Embora o desejo dos autores fosse o de identificar as causas dos eventos, em diversos casos, isso não foi possível, pelas razões já expostas. Desta forma, uma parcela dos relatos se limita a explicitar a parte da obra que foi impactada pelo acidente ou incidente. A identificação das causas pode ser encontrada em grande parte dos relatos, mas não em todos.

O livro se insere nos propósitos do CBDB: oferecer ao meio técnico um cadastro do nível de conhecimento atual sobre acidentes e incidentes em barragens no Brasil. Este cadastro ultrapassou, em seu conjunto, o número de páginas viável a uma edição impressa. Consequentemente, decidiu-se separar o texto do livro, que corresponde à primeira parte da obra, editando-o na forma impressa. A parte mais volumosa, representada pelo conjunto de relatos, foi colocada à disposição dos leitores e interessados via link fornecido pelo CBDB.

A forma de edição do livro, com os relatos acessíveis em meio digital, torna possível corrigir eventuais falhas ou omissões, bem como atualizar e complementar cada relato, o que será feito pelos autores com informações a serem obtidas no futuro.

Todas as informações que serviram de base para a elaboração dos relatos são de caráter público, coletadas de publicações ou de sites da Internet (com referência de fonte).

Através da análise de acidentes e incidentes propiciada pelos relatos, principalmente por aqueles baseados em consistentes informações técnicas, o livro cumpre seu objetivo de divulgar para o meio técnico da multidisciplinar tecnologia de barragens as lições aprendidas pelos que vivenciaram as situações enfrentadas pela Engenharia. Com esse registro de caráter histórico, os autores oferecem sua contribuição para o ulterior desenvolvimento da Política Nacional de Segurança de Barragens, um dos objetivos primordiais da ANA e do CBDB.

Os autores consideram que um livro que se dedique ao ajuntamento e descrição de casos de acidentes e incidentes em barragens, ocorridos em território nacional, pode servir de fonte de consulta e referência para estudantes e profissionais interessados no entendimento dos mecanismos que, frequentemente, contribuem para o desencadeamento dos eventos lesivos à integridade das obras. Este livro terá cumprido seu papel se conseguir despertar a atenção do leitor para a multiplicidade de aspectos envolvidos no permanente embate travado em torno das condições de segurança de cada estrutura de barramento.

*Só o que se fez ensina o que se deverá fazer para o diante.
Memórias são depoimentos pessoais no intermínio processo,
e valem por más testemunhas os que silenciam egoisticamente sobre
o que fizeram ou viram fazer.*

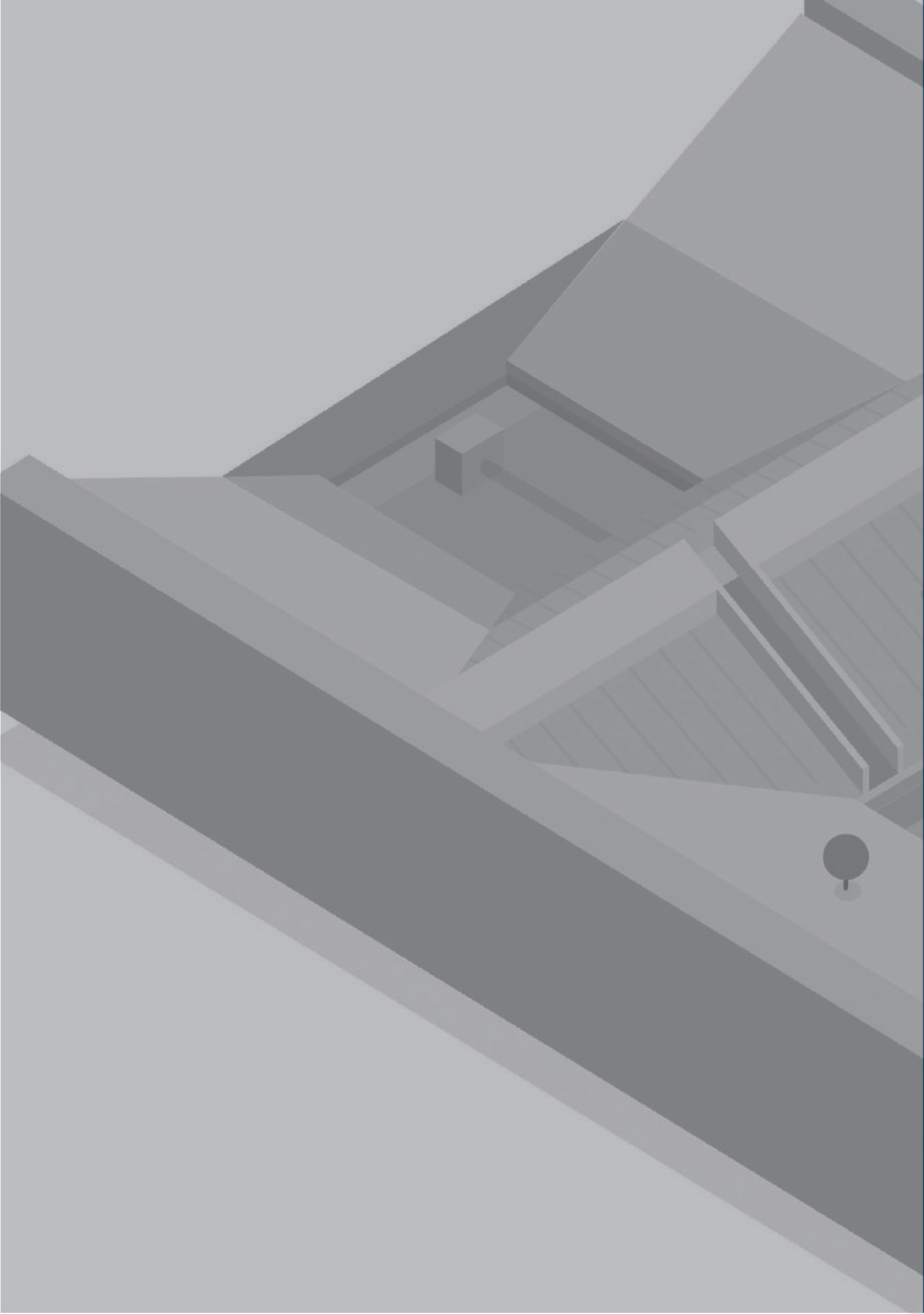
Monteiro Lobato
Ideias de Jeca Tatu

The past is good to learn from, but not to live in.

Harvey Mackay, citado por Michael Rogers, presidente da Comissão Internacional de Grandes Barragens - ICOLD, no III Encontro Técnico sobre Incidentes e Acidentes em Barragens (Brasília, 29 de outubro de 2021).

Sumário

1. Introdução	13
1.1 A água como principal agente exógeno	
1.2 Finalidade de barragens e reservatórios	
1.3 Abrangência, limitações e definições	
1.4 Agentes, causas e consequências	
2. Documentação e estatísticas sobre acidentes em barragens	21
2.1 O registro em âmbito internacional	
2.2 Documentação e estatísticas brasileiras	
3. Barragens no Brasil	35
3.1 Diversidade de condicionantes regionais	
4. Coletânea de acidentes e incidentes	53
5. Classificação de acidentes e incidentes	71
6. Sistematização de acidentes em barragens e obras anexas	77
6.1 Acidentes na fase construtiva (sem água no reservatório)	
6.2 Acidentes na etapa de enchimento ou de operação (com água no reservatório)	
7. Barragens de mineração: um capítulo à parte	133
7.1 Registro das principais ocorrências	
7.2 Barragens “órfãs”	
7.3 Tendências atuais	
8. Avaliação estatística de acidentes e incidentes registrados	149
9. Legislação sobre segurança de barragens no Brasil	155
9.1 Dos primórdios até a decretação da Lei nº 12.334	
9.2 Sucessão de eventos	
9.3 Legislação específica para barragens de rejeitos	
9.4 Regulamentações e aperfeiçoamentos da Lei nº 12.334	
9.5 Deliberações Normativas por parte dos Estados da Federação	
9.6 Legislação da Defesa Civil	
9.7 Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA)	
9.8 Acordo de Cooperação Técnica em Segurança de Barragens (ACT-SB) nº 31/2018	
10. Distribuição geográfica de acidentes e incidentes relatados	173
11. Considerações finais	177
12. Material consultado	181
13. Relatos descritivos	



CAPÍTULO 1

Introdução

- 1.1** *A água como principal agente exógeno*
- 1.2** *Finalidade de barragens e reservatórios*
- 1.3** *Abrangência, limitações e definições*
- 1.4** *Agentes, causas e consequências*

1.1 A água como principal agente exógeno

A água não compactua com ninguém e sua ação é inexorável. Erguer um obstáculo à água é desafiar a natureza. Queremos contê-la e represá-la, tirando partido de sua acumulação, mas somos aprendizes de um jogo em que o principal adversário, a própria água, atua de inúmeras formas, às vezes imprevisíveis, para se livrar do obstáculo.

O histórico de construção e operação de barragens é o retrato das inúmeras disputas travadas entre o homem e a água, em que os acidentes refletem momentos de desequilíbrio nas contendidas, a favor desta última. Impor um barramento em um curso d'água equivale a desafiar as leis da natureza, permanentemente em busca de uma condição de equilíbrio. A barragem constitui um elemento de quebra do equilíbrio, contra o qual a natureza se revolta, acionando seu principal meio de defesa: a própria água, que irá atuar de várias formas na tentativa de remover o obstáculo. O acidente é o momento em que o jogo se desequilibra. É o xeque dado no tabuleiro - e, às vezes, se converte em xeque-mate.

A principal ferramenta à disposição do homem é a capacidade de aprendizado, convertida em experiência e armazenada na memória. O caminho da construção de barragens tem sido percorrido à custa de sucessivas tentativas, pontuadas por erros e acertos. A capacidade de analisar as derrotas e de assimilar as lições impostas em cada caso tem qualificado o meio técnico a reduzir progressivamente as chances de derrota em benefício dos níveis de segurança.

O presente texto procura oferecer uma resenha crítica dos principais acidentes e incidentes registrados em barragens no Brasil, identificando, quando possível, as causas. A análise é necessariamente restrita aos eventos mais significativos que tenham alcançado divulgação suficiente para possibilitar uma apreciação crítica de suas condições de ocorrência.

1.2 Finalidade de barragens e reservatórios

O aproveitamento das águas para os mais diversos fins induziu o homem a acumulá-la através de reservatórios propiciados por barragens e diques, feitos com o emprego dos mais variados materiais disponíveis nas vizinhanças dos locais selecionados. O homem não foi pioneiro nesta tarefa e é bem possível que tenha se inspirado no exemplo dos castores, mestres na construção de barragens.

Utilizando pedras, folhas, galhos, troncos de árvore, lama, ou qualquer outro material disponível, os castores iniciam seu trabalho implantando estacas no leito de um córrego ou riacho para servirem como elementos de sustentação. Em seguida, empregando galhos e gravetos, desenvolvem uma estrutura horizontal, em zigue-zague.



Figura 1.1 – Barragem construída por castores (Internet, Acesso em 12/05/2020 - <http://tudosuperinteressante.blogspot.com/2014/07/castores-construtores-de-barragens.html>)

Ao longo da história, as barragens foram adquirindo grande diversidade de objetivos, atendendo às necessidades de controle de cheias, irrigação de terras agricultáveis, acumulação para abastecimento humano ou industrial, reservação para períodos de estiagem, navegação, geração de energia, recreação, regularização de vazões e perenização de cursos d'água, piscicultura, preservação do lençol freático, contenção de avalanches e corridas de detritos, defesa contra oscilações do nível do mar, proteção contra maremotos, paisagismo, dessedentação de animais, combate às secas, separação de líquidos diferentes, acumulação de sedimentos, disposição de resíduos industriais e de rejeitos de mineração, proteção de *polders*, transposição de bacias.

1.3 Abrangência, limitações e definições

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 para 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.

De acordo com a Resolução nº 144/2012, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), Art. 2, adota as seguintes definições:

I – **acidente**: comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou estrutura anexa;

II – **incidente**: qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente.

Ao longo do presente livro, o termo **incidente** é empregado, conforme definição acima, para designar uma **anormalidade, imprevisto ou não conformidade** de amplitude limitada que requer a adoção de medidas para reparo, mas que não interrompe a funcionalidade da barragem. Incidentes acarretam **comportamento inadequado** durante a construção ou durante a operação, implicando em investimentos com reforços ou reparos, ampliação ou modernização de monitoramento, instrumentação, atrasos de cronograma construtivo e redução dos benefícios previstos, sem destruição de patrimônio.

Por **comportamento inadequado** entende-se o surgimento de:

- eventos que tendem a impedir que a estrutura opere conforme inicialmente planejado;
- eventos que, embora não se constituam em ameaça para a segurança da barragem, podem gerar apreensão nas comunidades vizinhas ou no público em geral;
- eventos que podem evoluir e degenerar, culminando em acidente ou desastre;
- situações de não atendimento de critérios desejados ou vigentes da segurança.

Na opinião dos autores, o termo **acidente** possui caráter genérico, sem a forte conotação de comprometimento atribuída pela CNRH, e não revela, por si só, a natureza da ocorrência na vida da barragem, carecendo de melhor identificação. Os termos **ruptura** e **desastre** se enquadram na categoria de **acidentes**.

O termo **ruptura** tem conotação física específica e se refere aos danos causados na barragem ou nas estruturas anexas, podendo ter efeitos limitados ou acarretar o comprometimento parcial ou total do empreendimento (sendo, neste caso, sinônimo de desastre).

O termo **desastre** é, por si só, inquestionável e identifica a ocorrência de comprometimento ou destruição parcial ou total de uma barragem e/ou de suas estruturas anexas. Ocorre uma paralisação prolongada ou definitiva de uso. Tem significado similar ao de acidente na definição do CNRH.

O termo **sinistro** tem forte conotação jurídica. No mercado de seguros, trata-se de qualquer evento em que o bem segurado sofre acidente ou prejuízo material.

1.4 Agentes, causas e consequências

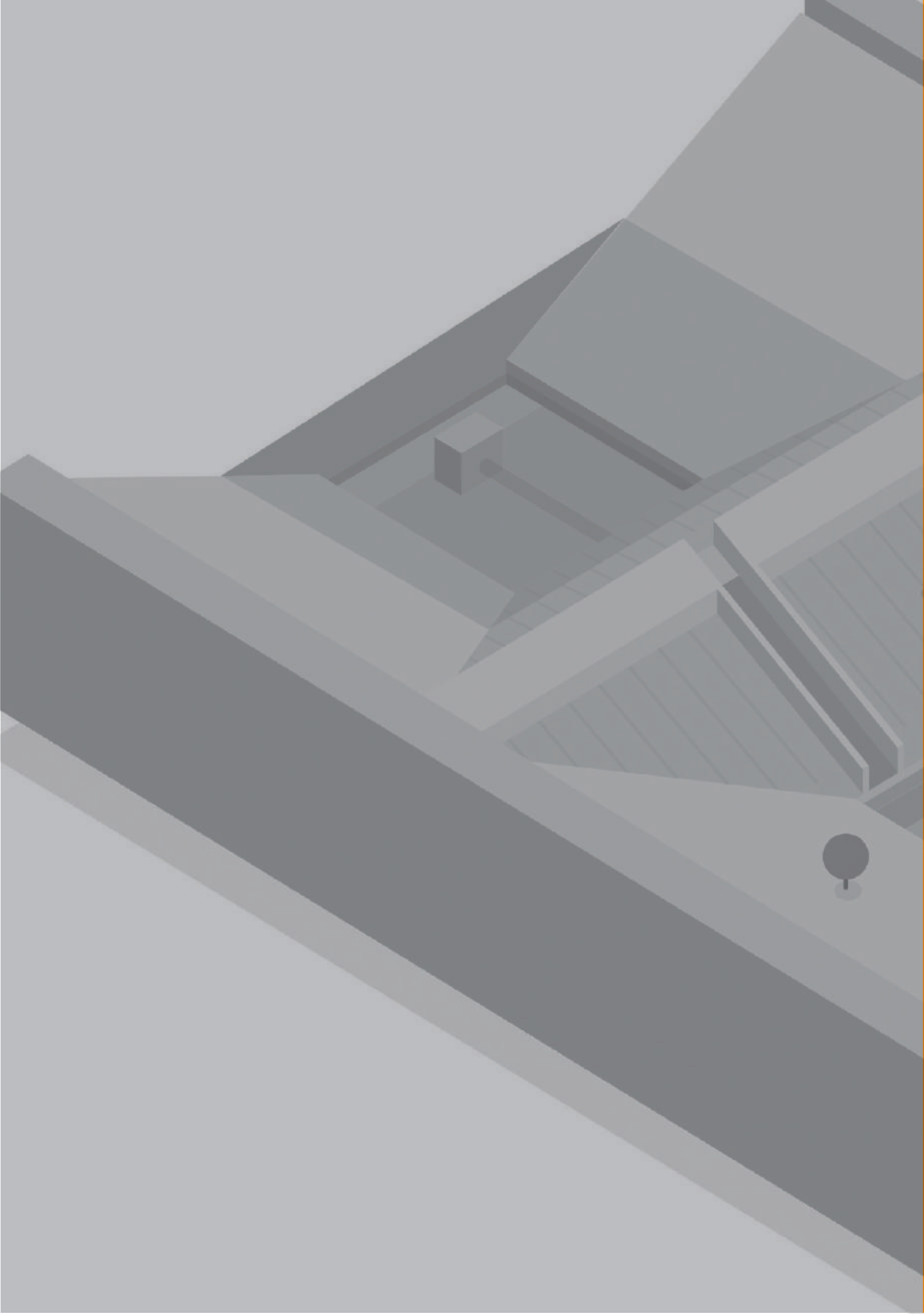
A identificação dos motivos de determinados eventos relacionados com a segurança de barragens (imprevistos, incidentes, acidentes, desastres) induz, inevitavelmente, à discussão em torno da tentativa de definir e distinguir **agentes** de **causas** e **consequências**. Trata-se, entretanto, de uma tarefa de resultados dúbios, uma vez que, em uma sequência de eventos, esses termos podem se confundir e a distinção se tornar impraticável. O que é identificado como consequência em um determinado momento do histórico de um evento, ou de uma anormalidade, pode passar a ser a causa do evento seguinte.

A definição de **agentes** aparenta ser uma tarefa relativamente simples, uma vez que pode ser associada com a natureza física dos eventos. Agentes são elementos naturais, identificáveis *in loco*, tais como cheia, corrosão, cavitação, erosão, correntes de retorno, escoamentos tangenciais, ondas, sismos, reações químicas, calor, chuva. Todos, entretanto, são consequência de algum evento anterior e podem, obviamente, assumir o papel de causa de determinados eventos posteriores.

Já as **causas** podem ter uma identificação mais difícil, pois remetem, geralmente, não a um fato isolado, mas a uma sequência de eventos que podem transpor os limites do ambiente físico, transferindo a discussão para o âmbito das responsabilidades civis, por exemplo.

Tome-se como exemplo o caso de uma barragem de terra que rompeu após ter sido galgada. A **causa** da ruptura foi: (a) a erosão que destruiu o talude de jusante, (b) o galgamento da barragem que desencadeou a erosão, (c) a enchente que não tendo por onde escoar galgou a barragem, (d) a insuficiente capacidade de extravasamento dos órgãos de vertimento, (e) a inadequação do projeto que não previu a inserção de dispositivos de descarga necessários, (f) a escassez de recursos financeiros (adoção de níveis de risco acentuados), (g) falhas no sistema operacional que não interveio a tempo, (h) a conjugação de diversos fatores? A mais provável costuma ser a alternativa h.

No contexto do presente livro, seguindo um procedimento que tem balizado os levantamentos promovidos em âmbito internacional, procurou-se delimitar a identificação das causas ao espaço físico. Isso não impede, entretanto, que situações flagrantes de responsabilidade de órgãos governamentais, proprietários, concessionários, projetistas, construtores, fabricantes, fornecedores e montadores venham a ser, eventualmente, apontadas quando necessário ou oportuno.



CAPÍTULO 2

Documentação e estatísticas sobre acidentes em barragens

2.1 *O registro em âmbito internacional*

2.2 *Documentação e estatísticas brasileiras*

2.1 O registro em âmbito internacional

Dada a dificuldade de reunir informações suficientemente completas, o registro de acidentes em barragens para posterior análise e geração de dados estatísticos representa uma atividade complexa e consumidora de tempo e recursos. Somente pode ser alavancada por entidades governamentais ou que contenham subsídios para este fim.

Em âmbito internacional, coube à Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD/CIGB), entidade não governamental destinada a promover o intercâmbio de conhecimento e experiência em Engenharia de Barragens, a tarefa de realizar os primeiros levantamentos na área de Segurança de Barragens, o que abrange, evidentemente, o cadastramento de acidentes e incidentes.

Em cadastramento relativamente recente (2016), a ICOLD apresentou um quadro em que o Brasil figura como o quinto maior detentor de grandes barragens no mundo (**Tabela 1.1**).

Foi na década de 60 que a ICOLD, criada em 1928, empreendeu a realização do primeiro cadastramento de acidentes em barragens. Em 1964, a ICOLD aprovou uma proposta para o “Estudo de acidentes e incidentes conhecidos em fundações rochosas de grandes barragens”, entendendo como tais as barragens que atendessem aos seguintes requisitos:

PAÍS	NB
China	23.842
Estados Unidos	9.265
Índia	5.102
Japão	3.108
Brasil	1.392
República da Coreia (Coreia do Sul)	1.306
Canadá	1.170
África do Sul	1.114
Espanha	1.082
Turquia	972

Tabela 1.1 - Registro mundial de grandes barragens dos países membros do ICOLD (2016)

- a) altura superior a 15 m;
- b) altura entre 10 e 15 m, conjugada a pelo menos um dos seguintes requisitos:
 - comprimento de crista não inferior a 500 m;
 - capacidade do reservatório não inferior a 1 milhão de m³;
 - descarga máxima de cheia não inferior a 2 mil m³ por segundo;
 - condições de fundação particularmente problemáticas;
 - projeto da barragem não convencional.

Naquela oportunidade, a solicitação de informações sobre acidentes e incidentes foi feita a todos os comitês nacionais membros da ICOLD e culminou com a edição do livro “*Lessons from dam incidents*”. Publicado em 1974, reuniu os resultados recebidos de 43 países membros que relataram a ocorrência de 530 incidentes ocorridos entre 1900 e o final de 1965. Destes incidentes, cerca de 60% se referiam a grandes barragens - entre estes foram computados 90 casos de colapso. Em fins de 1965 existiam cerca de 9 mil grandes barragens em todo o mundo. O livro é um volumoso apanhado com mais de mil páginas. O Brasil foi citado com um único acidente, o de Orós (CE), e um único incidente, ocorrido nos dois túneis de desvio da UHE Furnas (MG), no total de 196 grandes barragens registradas no País antes de 1965. Esta foi a primeira iniciativa de fôlego no sentido de gerar um cadastro de ocorrências que permitisse avaliar a incidência das principais causas de acidentes.

Para angariar relatos de acidentes importantes com o propósito de compor a publicação da ICOLD, o Comitê Brasileiro de Grandes Barragens selecionou, em 1963, o tema “Acidentes em Barragens” como um dos três principais tópicos do II Seminário Nacional.

A partir de então se consolidou a prática de levantamentos periódicos e sistemáticos sobre incidentes e acidentes em barragens. Em 1975, a *American Society of Civil Engineers (ASCE)* publicou o primeiro levantamento sistemático realizado nos EUA pelo Comitê Norte-Americano de Grandes Barragens (USCOLD) com o título “*Lessons from dam incidents - USA*”. Dando continuidade temporal ao primeiro cadastramento da ICOLD, entre o começo de 1966 e fins de 1972, foram registrados, em território norte-americano, 228 acidentes significativos. Neste cadastramento passaram a ser computados também acidentes ocorridos no período construtivo. O volume editado possui 392 páginas. O volume de casos coletados, em conjunto com os eventos registrados anteriormente, deu margem para que se procedesse a análise estatística com o propósito (entre outros) de estabelecer critérios de probabilidade de ocorrência de novos eventos.

Segundo a referida publicação “*Lessons from dam incidents - USA*” (1975), 13,5% (uma em cada 7,4) das 2.531 barragens construídas entre 1900 e 1960 foram atingidas por acidentes, dos quais 2,3% (um em cada 43) foram desastres, como se vê na **Tabela 1.2**.

A incidência caiu cerca de quatro vezes no período 1960 a 1973. Nesse intervalo de tempo foram construídas 2.128 barragens nos EUA, das quais 2,8% (uma em cada 35) sofreram acidentes, enquanto 0,5% (um em cada 193) foram desastres.

Na **Tabela 1.2** foram comparadas barragens construídas em certo período com acidentes ocorridos no mesmo período. Sobressai a necessidade de cuidado com a interpretação dos dados. Estes não refletem, necessariamente, o status técnico do período focado visto que, por exemplo, barragens acidentadas em 1960 - 1973 podem ter sido construídas muito antes, com tecnologia eventualmente ultrapassada.

Outra avaliação dos acidentes ocorridos em obras construídas em dois períodos (1920 - 1929 e 1960 - 1969, nos EUA): considerando apenas os acidentes com água no reservatório, a incidência de acidentes passou de 6% na década de 20 para 2% na década de 60, e a incidência de desastres caiu 15 vezes, passando de 3% na década de 20 para 0,2% (um em cada 470) na década de 60 (**Tabela 1.3**).

Na **Tabela 1.4** estão indicados os intervalos de tempo transcorridos e o respectivo número de acidentes em barragens construídas nos EUA na década de 1920 (USCOLD, 1975). Em que pese o número reduzido de casos, para fins estatísticos, 88% dos acidentes e desastres ocorreram antes de completados 20 anos de operação da barragem, sendo que 82% aconteceram antes de cinco anos de operação. Dos acidentes registrados após 20 anos, dois decorreram de deslizamentos deflagrados por terremotos, um foi por galgamento e um por percolação pela fundação.

PERÍODO	CONSTRUÍDAS NO PERÍODO	ACIDENTES OCORRIDOS NO PERÍODO	
		ANORMALIDADES E ACIDENTES	DESASTRES
1900 - 1960	2.531	284 (11,2%)	59 (2,3%)
1960 - 1973	2.128	60 (2,8%)	11 (0,5%)

Tabela 1.2 – Incidência de acidentes em barragens com altura maior do que 15 m nos EUA. Foram excluídas barragens não convencionais (cerca de 250) (USCOLD, 1975)

PERÍODO	CONSTRUÍDAS NO PERÍODO	ACIDENTES OCORRIDOS NO PERÍODO	
		ANORMALIDADES E ACIDENTES	DESASTRES
1920 - 1929	382	23 (6%)	11 (3%)
1960 - 1969	1880	36 (2%)	4 (0,2%)

Tabela 1.3 – Acidentes ocorridos em barragens com reservatório cheio nos EUA (USCOLD, 1975)

Constata-se pela **Tabela 1.4** a concentração de cerca da metade dos acidentes (e dos desastres) no primeiro ano de operação, ou seja, durante ou logo após o primeiro enchimento do reservatório. O primeiro enchimento do reservatório é um momento crítico de uma barragem, visto que grande parte da carga que ela terá que suportar é aplicada praticamente de uma vez, em geral de forma rápida. São poucas as obras civis com esta característica e, certamente, as barragens costumam estar entre as mais dispendiosas e com maior potencial de dano.

Em 1988 foi publicada a atualização do primeiro levantamento com o título “*Lessons from dam incidents - USA II*”, cobrindo os acidentes ocorridos entre o início de 1973 e o final de 1985. Mais de 500 acidentes e incidentes foram registrados neste período, nos EUA.

Com base nos diversos registros de acidentes em barragens, Foster & outros (1998) levaram a termo estudos estatísticos sobre as rupturas em grandes barragens de terra e/ou enrocamento construídas entre 1800 e 1986 em todos os continentes. Nestas avaliações foram excluídos dados referentes a barragens construídas no Japão antes de 1930 e na China por conta da imprecisão das informações. A **Tabela 1.5** apresenta as principais conclusões.

A partir dos dados de Foster & outros (1998), constata-se que os casos de erosão interna são responsáveis por cerca de metade das rupturas em barragens de terra e/ou enrocamento, sendo esta causa aproximadamente igual em importância aos casos de ruptura por galgamento durante enchentes, quando a capacidade dos órgãos de descarga se revela inadequada, insuficiente ou com defeitos de operação.

TEMPO DESDE A CONSTRUÇÃO (ANOS)	ACIDENTES	DESASTRES
0 a 1	11	5
1 a 2	4	4
2 a 5	2	2
5 a 20	2	---
> 20	4	---

Tabela 1.4 – Acidentes em barragens com reservatório cheio, construídas entre 1920 e 1929 nos EUA (USCOLD, 1975)

MECANISMO DE RUPTURA	EROSÃO		ESCORREGAMENTO	
MODO DE RUPTURA	EROSÃO EXTERNA (GALGAMENTO)	EROSÃO INTERNA	INSTABI- LIDADE ESTÁTICA	INSTABI- LIDADE SÍSMICA
% do total	48%	46%	4%	2%
% do total	94%		6%	

Tabela 1.5 – Estatística de rupturas em barragens de terra e/ou enrocamento em todos os continentes (Foster & outros, 1998)

Em mais uma análise estatística, tomando-se o ano de 1950 como marco divisor para análise de casos de ruptura de barragens, a utilização dos dados apresentados por Foster e outros (1998) leva às conclusões expostas na **Tabela 1.6**, apresentada por Ladeira (2007, pág. 34). Verifica-se ali que a probabilidade de ruptura em barragens construídas após 1950 cai para cerca de um terço da probabilidade antes de 1950.

O processo de erosão interna (*piping*), seja através do barramento, seja pela fundação, passa a ser responsável por cerca de 54% dos acidentes ocorridos após 1950, enquanto o galgamento da barragem vem em segundo lugar, com 32% dos casos conhecidos.

Na **Tabela 1.6**, a estatística compreendeu o levantamento em grandes barragens (com altura superior a 15 m) em todos os continentes, excluindo barragens construídas no Japão antes de 1930

MODO DE RUPTURA	% TOTAL DE RUPTURAS (MODO DE RUPTURA CONHECIDO)	% RUPTURAS ANTES DE 1950	% RUPTURAS APÓS 1950
Galgamento (<i>overtopping</i>)	34,2%	36,2%	32,2%
Vertedouro	12,8%	17,2%	8,5%
<i>Piping</i> através do barramento	32,5%	29,3%	35,5%
<i>Piping</i> do barramento para a fundação	1,7%	0%	3,4%
<i>Piping</i> através da fundação	15,4%	15,5%	15,3%
Deslizamento do talude a jusante	3,4%	6,9%	0%
Deslizamento do talude a montante	0,9%	0%	1,7%
Abalo sísmico	1,7%	0%	3,4%
Total	102,6%	105,1%	100%
Total de galgamento e falhas em equipamentos de acessórios	48,4%	53,4%	40,7%
Total de <i>piping</i>	46,9%	43,1%	54,2%
Total de deslizamentos	5,5%	6,9%	1,6%
Nº total de barramentos de barragens que romperam (exceto durante a construção)	124	61	63
Nº em anos de operação de barramentos de barragens em operação (até 1968)	300.524	71.000	229.400
Probabilidade anual de ruptura	$4,1 \times 10^{-4}$	$8,6 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-4}$

Tabela 1.6 – Estatística de rupturas em grandes barragens, antes e após 1950 (Ladeira, 2007)

e barragens da China. No levantamento, constatarem-se 171 rupturas, sendo que 12 ocorreram durante a construção, conforme informado por Foster & outros (1998). As percentagens não necessariamente somam 100%, pois algumas barragens romperam por múltiplos modos de falha.

Mais recentemente, encontra-se na literatura técnica norte-americana respaldo para novas avaliações estatísticas a respeito de incidentes em barragens. Regan (2009), com base em um universo de 1.158 casos de incidentes levantados em 84 países, estabeleceu uma correlação com a idade das barragens, colocando em evidência a significativa parcela de incidentes (31%) que ocorreram nos cinco primeiros anos de operação, o que deve incluir, embora não explicitada, a etapa de primeiro enchimento do reservatório (**Figura 1.2**).

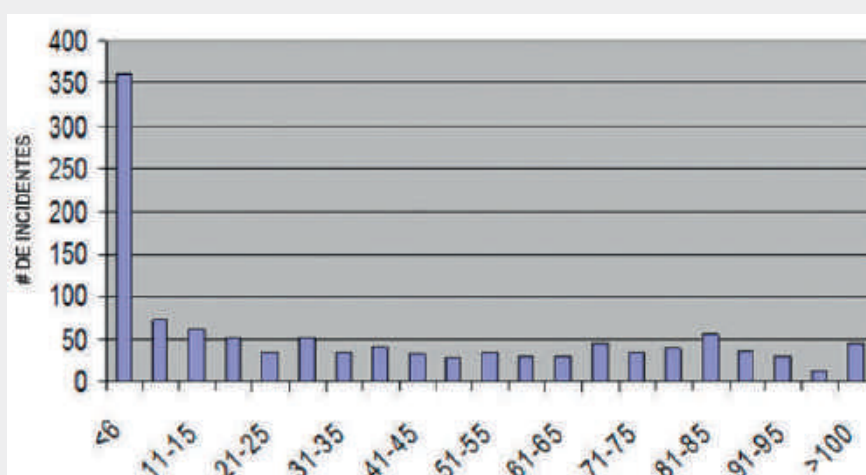


Figura 1.2 – Correlação entre número de acidentes e idade das barragens em anos (Levantamento feito em 84 países) (Regan, 2009)

2.2 Documentação e estatísticas brasileiras

2.2.1 A escassez de informações

No Brasil, a documentação sobre acidentes é escassa, refletindo uma série de fatores que contribuem para tanto. Muitas barragens de pequeno e médio porte foram implantadas sem registro de projeto, em regiões afastadas dos centros urbanos, desprovidas, muitas vezes, de qualquer atividade de operação e manutenção. Nessas circunstâncias, os casos de acidentes somente alcançam o registro em noticiários quando afetam as condições de vida das populações ribeirinhas ou interrompem as vias de comunicação locais.

O Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBGB), hoje Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), principal associação técnica ligada ao ramo da Engenharia de Barragens no Brasil, passou a atuar efetivamente no início dos anos 1960, apesar de ter sido precedido por outras entidades. Cabem aqui breves informações de caráter histórico. No Brasil, uma primeira tentativa de criar uma entidade filiada à Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD/CIGB) ocorreu em 1936, logo após o 2º Congresso Internacional de Grandes Barragens, realizado em Washington. Foi então instituída a Comissão Brasileira de Grandes Barragens que, entretanto, durou poucos anos, pois não havia suporte financeiro. Reativada em 1957, junto ao Ministério da Viação e Obras Públicas, continuou com dificuldades para realizar as contribuições anuais da ICOLD/CIGB. Foi somente em 1961, às vésperas do 7º Congresso Internacional de Grandes Barragens, que o CBGB ganhou novo impulso com a contribuição financeira de empresas privadas de Engenharia Consultiva. O primeiro estatuto do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens data de outubro de 1961.

Com grande relevância no cenário nacional, o CBGB promoveu um cadastramento de 140 casos de deterioração de barragens e reservatórios no Brasil. O documento serviu de base ao boletim da ICOLD “*Deterioration of dams and reservoirs*”, editado em 1983, contendo 730 casos relatados. Além desse cadastro, há número significativo de relatos em trabalhos técnicos apresentados em eventos (seminários, simpósios, etc.) por iniciativa de seus associados e demais interessados. Afinal, o tema Segurança de Barragem foi abordado em eventos do CBDB e da ICOLD frequentemente.

Historicamente, a escassez de informações é documentada pelas estatísticas apresentadas na **Tabela 1.7** a seguir. No Brasil, para um total aproximado de 700 grandes barragens (com mais do que 15 m de altura) construídas até 1990, registraram-se pouco mais de 10 acidentes até a referida data. Apesar de a tabela trazer diversos casos de acidentes em barragens no Brasil, sua origem não foi identificada.

BARRAGEM	LOCAL	INÍCIO DE OPERAÇÃO	DATA DO DESASTRE	TIPO DE ACIDENTE
Ema	Pereio (CE)	1932	1940	Percolação pelo aterro
Duas Bocas	Vitória (ES)	1938	No 1º enchimento	Percolação pelo aterro
Pampulha	Belo Horizonte (MG)	1941	20 abril 1954	Percolação pelo aterro
Santa Cruz (e Trairi)	Santa Cruz (RN)	1959	10 abril 1961	Galgamento
Trairi	Santa Cruz (RN)	1959	10 abril 1961	Galgamento
Orós		1961	1960	Galgamento
Euclides da Cunha	São José do Rio Pardo (SP)	1960	19 janeiro 1977	Galgamento
Limoeiro (Armando de Salles Oliveira)	São José do Rio Pardo (SP)	1958	19 janeiro 1977	Galgamento
Mulungu	Buique (PE)	1981	No 1º enchimento	Percolação pelo aterro
Santa Helena	Camaçari (BA)	1981	9 maio 1985	Levantamento da laje do rápido do vertedouro

Tabela 1.7 – Incidência de acidentes em barragens brasileiras até 1990

Elaborada no começo dos anos 90, pode-se dizer que as informações contidas na tabela fornecem um quadro “róseo” sobre a segurança das barragens no Brasil, ou seja, não reflete, nem de longe, a situação real.

Os acidentes relatados na **Tabela 1.7** dizem respeito, em sua maioria, aos casos emblemáticos que dificilmente passariam despercebidos ou deixariam de ser noticiados. No Brasil, historicamente ocorrem inúmeros acidentes concentrados em reservatórios pequenos por ocasião da estação das chuvas. Muitos deles possuem características de desastre, entretanto não alcançam o noticiário da imprensa por afetarem áreas afastadas dos centros urbanos, de baixa densidade populacional ou desprovidas de qualquer forma de registro e monitoramento.

A incidência de acidentes em barragens no território nacional tem se acentuado nas últimas décadas como consequência de diversos aspectos, dentre os quais merecem destaque a aceleração no ritmo de construção de novos empreendimentos (em particular de pequenas barragens) e a crescente participação da iniciativa privada (pautada pela busca de resultados em prazos mais curtos em relação aos adotados tradicionalmente, com consequente adoção de níveis de risco mais elevados).

2.2.2 Presença das agências reguladoras

Foi somente a partir de 1977, por iniciativa do engenheiro Ferdinand M.G. Budweg, conselheiro do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, que houve interesse no estabelecimento de uma legislação relativa à Segurança de Barragens. Decorridos 33 anos, com a promulgação da Lei nº 12.334/2010, estabeleceu-se a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou-se o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Ambos tratam, entre outros assuntos, da formação dos cadastros dos órgãos fiscalizadores e da identificação das barragens existentes.

A referida Lei estabeleceu a responsabilidade legal do empreendedor em manter as condições de segurança de suas barragens e definiu os órgãos fiscalizadores em função do uso dado ao barramento. Para barragens de geração de energia elétrica, essa obrigação passou a ser exercida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); para barragens de acumulação de rejeitos de mineração, pela Agência Nacional de Mineração; para barragens de resíduos industriais, pelo órgão ambiental que as licenciou (federal, estadual ou municipal); e, para os demais usos, pelo órgão que outorgou o barramento, no caso a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para obras em rios de domínio da União, e órgãos estaduais de recursos hídricos para barragens em rios de domínio dos estados.

Cerca de 10 anos após a promulgação da Lei nº 12.334/2010, o Governo Federal publicou nova lei, a de nº 14.066/2020, em 1 de outubro, que alterou significativamente a Política Nacional de Segurança de Barragens, mencionada mais adiante neste texto.

A partir da promulgação da Lei nº 12.334/2010, a ANA recebeu a atribuição de emitir anualmente o Relatório de Segurança de Barragens, sendo sua primeira edição relativa ao ano de 2011. Desde logo, houve um forte empenho, por parte da ANA, no sentido de se conceber e implementar o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, onde deve estar o cadastro único de todas as barragens construídas no País. O cadastro é o primeiro passo para elaborar e implantar um sistema de classificação das barragens em função da categoria de risco e dano potencial associado.

Consta no relatório da ANA sobre Segurança de Barragens, divulgado em 2013, que existiam no País 13.529 barragens, contabilizadas nos cadastros dos órgãos fiscalizadores estaduais e federais, sendo 1.261 para geração de energia, 264 de rejeitos de mineração, 256 de resíduos industriais e 11.748 para as demais finalidades. O relatório trouxe, também, uma relação de acidentes em barragens ocorridos no ano anterior.

Decorridos sete anos desde a primeira edição, o Relatório da ANA de 2019 indicava a existência de 19.388 barragens cadastradas, das quais 5.285 se submetiam à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Já, no Relatório de 2020, o número de barragens cadastradas no PNSB era de 5.591. Este total se distribuía nas mais variadas formas de aproveitamento da água, indicadas na **Figura 1.3**, a seguir.

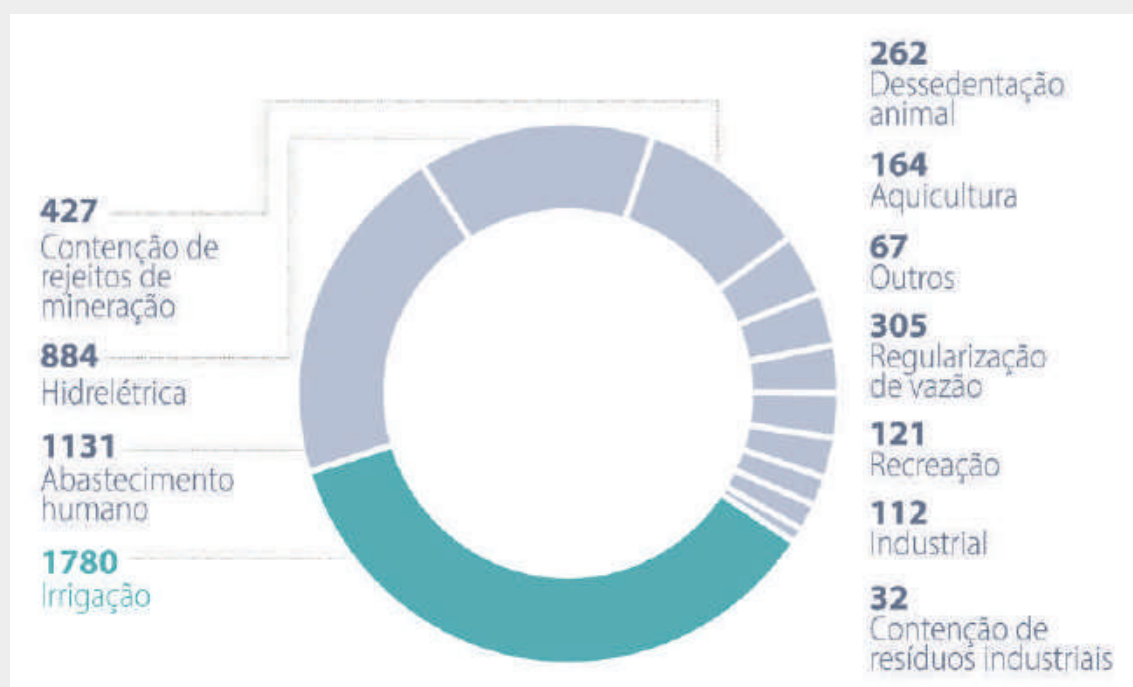


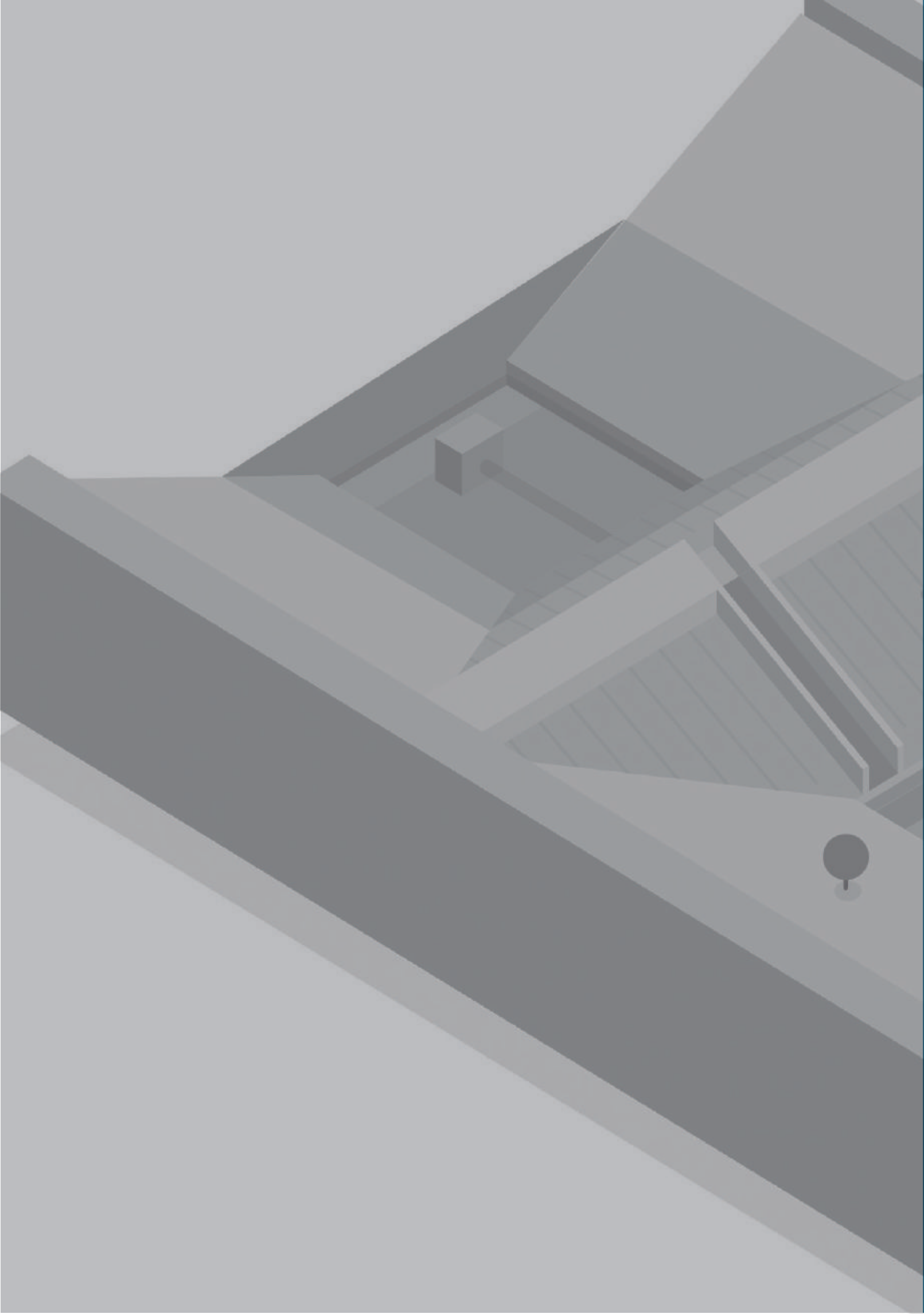
Figura 1.3 – Diversidade de finalidades das 5.591 barragens cadastradas na PNSB (ANA, 2019)

A contribuição da ANA se faz, também, de outras formas. Mesmo antes de receber a atribuição de órgão fiscalizador, decorrente da Lei nº 12.334/2010, a ANA já atuava no sentido de organizar e unificar as informações disponíveis sobre os espelhos d'água no País. O mapeamento de espelhos d'água, documentado pela **Figura 1.4**, foi elaborado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), em cooperação com o Ministério de Integração Nacional (MI) e a ANA, com imagens de satélite do período de 2003 a 2006. Nele são identificados os espelhos d'água com área superior a 20 ha, classificados como naturais e artificiais.

O mapeamento das massas d'água compreende os corpos d'água existentes no território nacional, tais como lagos e reservatórios, e foi executado com o propósito de gerar informações para subsidiar ações de planejamento e gestão do setor de recursos hídricos e integrar a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).



Figura 1.4 - Massas d'água (espelhos d'água) (FUNCEME/MI/ANA – Setembro/2016 – Internet - <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c>)



CAPÍTULO 3

Barragens no Brasil

3.1 *Diversidade de condicionantes regionais*

3.1 Diversidade de condicionantes regionais

Historicamente, a construção de barragens no Brasil refletiu necessidades de caráter regional. Enquanto no Sudeste o surto desenvolvimentista do final do século XIX, capitaneado pelo complexo exportador cafeeiro, induzia investimentos para geração de energia elétrica, no Nordeste persistia o problema das históricas e periódicas secas, exigindo soluções para a preservação da própria estrutura social.

Essa diversidade de premissas e motivações regionais fez com que os caminhos trilhados divergissem não apenas nos objetivos, como também na formulação básica dos empreendimentos. A geração de energia que motivava os empreendimentos na região Sudeste exigia a busca e seleção de sítios dotados de desníveis acentuados no perfil dos cursos d'água. Os primeiros empreendimentos surgiram ao longo dos altos e médios cursos dos rios onde a possibilidade de aproveitamento de quedas acentuadas constituía o elemento de maior atratividade. O acúmulo de grandes volumes de água não era um fator determinante. Os empreendimentos característicos possuíam reservatórios modestos, formados por barragens de pequena altura e pouca extensão, construídas com pedra argamassada ou concreto. Conduitos forçados, associados ou não a canais de adução, conduziam os caudais para casas de força que abrigavam equipamentos de geração de energia elétrica. Por serem pequenos os consumos de energia, as usinas eram pouco afetadas pelas estiagens e quase sempre asseguravam a continuidade da geração.

Na região Sudeste, grandes barragens de materiais terrosos ou com obras subterrâneas somente começaram a ser desenvolvidas a partir das décadas de 50 - 60, quando os princípios da Mecânica dos Solos se encontravam estabelecidos. É o caso das Barragens de Três Marias (CODEVSF/CEMIG, 1957/1962), do Complexo Paulo Afonso (a partir de 1949), de Furnas (Furnas, 1957/1963), das hidrelétricas Henry Borden, Fontes Nova e Nilo Peçanha (Light, 1950), e Jupia (Celusa/CESP, 1960/1968).

Já os empreendimentos típicos da região Nordeste priorizavam, necessariamente, o acúmulo de água para abastecimento, dessedentação e irrigação. A geração de energia estava sujeita a restrições severas devido ao regime hidrológico intermitente da quase totalidade dos cursos d'água da região. Desde logo, a busca por locais favoráveis priorizou o chamado “boqueirão”, que corresponde ao estreitamento localizado no vale fluvial, permitindo a inundação de vastas áreas da bacia ao custo de “muros” de altura e extensão moderadas.

Na quase ausência de observações hidrológicas sistemáticas e diante do escasso conhecimento do regime hidrológico de longa duração, limitado ao registro visual e memória de algumas gerações de moradores, os descarregadores de cheias, ou sangradouros, não

integravam, via de regra, a barragem principal, mas se encontravam deslocados para selas topográficas ou escavações um pouco afastadas, em uma das margens do reservatório. As vazões de projeto de baixa frequência de vertimento, associadas, geralmente, com boas condições das fundações e ombreiras, levaram à utilização de vertedouros simplesmente escavados, sem dispositivos de controle. Quando muito, um cordão baixo de concreto assinalava o eixo longitudinal do sangradouro e definia sua cota de vertimento.

O desconhecimento do comportamento dos materiais terrosos, que somente viria a ser superado com o advento da Mecânica dos Solos a partir de meados do século XX, fez com que a Engenharia de Barragens no Nordeste, cujos primórdios datam do século XVII, adquirisse as características de campo experimental. Os princípios que regem o controle do fluxo d'água pela barragem e pela fundação, a estabilidade de aterros e corpos de enrocamento, os critérios de filtragem, as paredes estanques e as trincheiras de vedação eram testados empiricamente em sucessivos e numerosos protótipos, sob a administração de órgãos governamentais criados com o propósito de combater as secas periódicas.

Como não podia deixar de ser, o campo experimental de construção de barragens no Nordeste foi caracterizado por uma maioria de casos bem sucedidos, pontilhados por diversos acidentes. Pela variedade e riqueza de soluções propostas, o histórico de barragens no Nordeste merece uma abordagem um pouco mais detalhada.

3.1.1 Barragens no Nordeste

O Nordeste é palco de problemas crônicos, dos quais o mais grave (e origem dos demais) reside na irregularidade de distribuição, no tempo e no espaço, do regime de chuvas, ocasionando secas periódicas, às vezes com consequências muito severas. Embora sejam as secas conhecidas no Nordeste desde a época do descobrimento do País, sua ocorrência e duração sempre foram de difícil previsibilidade até meados dos anos 80 do século passado - quando foi definida a principal causa das secas extremas.

A primeira seca historicamente constatada ocorreu em 1583, documentada por Fernão Cardim. Seguiram-na seis secas no século XVII (registradas pela escassa população da época), 19 no século XVIII, 13 no século XIX e outras 16 no século XX (até 1981), sendo que, destas, cinco podem ser consideradas como secas gerais, abrangendo praticamente todo o Nordeste, enquanto as restantes podem ser enquadradas na categoria de parciais. Muitas delas tiveram consequências arrasadoras. Na “Grande Seca” de 1877/1880 pereceu mais da metade das 1.754.000 pessoas que residiam na região atingida pelo flagelo. Na seca de 1915 pereceram 27 mil cearenses e 75 mil migraram, sobretudo para a Amazônia.

Fenômeno de natureza tão grave e repetitiva vem desde sempre motivando a população a pressionar o governo para minorar os efeitos. Muitas soluções têm sido propostas, algumas iniciadas no clímax de calamidades. Foi assim que, na crista das sucessivas secas, surgiram os grandes órgãos regionais.

A “Grande Seca” de 1877/1880 gerou comissões transitórias que, em 1909, se consolidaram na Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), depois Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS) e, atualmente, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).

A área de atuação do DNOCS é estabelecida por lei e tem se modificado ao longo do tempo. Desde 1968, entretanto, a figura que a delimita, conhecida como “Polígono das Secas”, apresenta um prolongamento para Sul, resultante do enclave da bacia hidrográfica do rio São Francisco, sob a jurisdição da CODEVASF (**Figura 1.5**).



Figura 1.5 – Abrangência da região semi-árida no Nordeste (ANA, 2006)

Por contingências fisiográficas e geológicas, voltaram-se esses órgãos, desde o início, para a acumulação das águas superficiais em reservatórios artificiais, nas áreas de afloramento de rochas cristalinas, e para a exploração de aquíferos, por poços, nas áreas sedimentares. A açudagem se destina, assim, ao armazenamento da água pluvial que se precipita copiosa em reduzido tempo, desperdiçada na sua maior parte pela evaporação e escoamento superficial rumo ao oceano, de modo a beneficiar as populações ribeirinhas e fornecer-lhes água em momentos críticos de suas atividades agrícolas, assim estimuladas.

Proposta ainda no Segundo Império, após a “Grande Seca” de 1877/1880, a transposição de descargas do rio São Francisco para as regiões secas do Nordeste encontra-se em fase conclusiva (2021), com inúmeras estruturas hidráulicas envolvendo barragens, canais, túneis, estações elevatórias e obras de irrigação.

• Os açudes

O emprego do termo “açude” tem uma conotação regional muito forte. Açude, para o nordestino, é qualquer reservatório surgido da interceptação de uma corrente, provocando a acumulação da água. Compreende, ao mesmo tempo, a barragem (parede, paredão, muro) de terra, concreto ou alvenaria de pedra e o reservatório por ela formado (Miranda, 1982). Açude é também a vazante onde o sertanejo faz sua cultura, à medida que o nível d’água vai baixando, à margem do rio ou da represa, passada a época das chuvas. A lavoura de vazante aproveita, assim, não só a umidade profunda do terreno, mas, ainda, o limo fertilizante que fica depositado com o recuo das águas. Para o sertanejo, o pequeno açude é feito para permitir a cultura sazonal de legumes, que deve estar terminada no inverno, antes da sobrevivência das novas águas e consequente subida do nível do rio ou do reservatório. O processo de grande açudagem no Nordeste, empreendido pelos órgãos governamentais empenhados em combater os efeitos das secas, tomou emprestado o termo que passou a ser empregado generalizadamente.

A abundância de material adequado à construção, a tradição e acessibilidade de tecnologia menos complexa e o excedente de mão de obra disponível, particularmente na época da estiagem, conduziram, naturalmente, às barragens de terra e, excepcionalmente, às de alvenaria de pedra. Apenas em obras públicas e circunstâncias especiais foi utilizado o concreto ciclópico.

Desde fins do século XIX foram construídas, assim, cerca de três centenas de barragens públicas - a grande maioria de comprovado desempenho favorável. Embora a construção de açudes lembre épocas históricas, um marco significativo é representado pela barragem de Cedro, no rio Sitiá, a montante de Quixadá, Estado do Ceará, erguida em alvenaria de pedra com um dique de terra compactada e um vertedouro em sela na margem esquerda do reservatório. Os trabalhos de projeto e construção tiveram início na década de 1880, a cargo da Comissão de Açudes e Irrigação, mas a construção somente foi concluída em 1906.

Em outubro de 1909 surgia a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), que teve no engenheiro Miguel Arrojado Ribeiro Lisboa o seu primeiro inspetor. Em 1919, o IOCS passou a denominar-se Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), prosseguindo em sua tarefa de combater os efeitos devastadores de condições climáticas adversas. Em 1945, o órgão passou a denominar-se Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), uma autarquia federal que por pouco tempo chegou a ser extinta pelo governo Collor de Mello, tendo sido posteriormente reinstalada.

Apesar do grande número de açudes construídos nas últimas décadas do século XIX e nas primeiras do século XX, sua documentação e registro técnico são escassos. A partir da década de 1934, a IFOCS passou a editar seu boletim informativo, iniciativa prosseguida pelo DNOCS, suprimindo parcialmente a deficiência apontada. As principais obras passaram a merecer registro nos referidos boletins, mas a memória técnica da maioria dos açudes não foi preservada.

- **Diversidade de soluções**

Os projetos da época faziam uso dos solos superficiais (geralmente) provenientes da desintegração das rochas graníticas e gnáissicas do embasamento cristalino, em níveis variados de maturidade pedológica. A homogeneidade das condições geotécnicas, aliada à extensa experiência regional, permitiu o desenvolvimento de uma técnica especificamente voltada para a construção de barragens nas áreas do cristalino. As barragens de terra costumavam ser homogêneas, com fundação em trincheira ultrapassando a camada de aluvião, atingindo o solo residual jovem ou a rocha. Nas ombreiras, a trincheira cortava a parte mais superficial do solo residual maduro. O material para construção era obtido em jazidas de solo residual (areia argilosa *sandy clay*, localizada nas proximidades da barragem).

Os boletins do IFOCS documentam adequadamente semelhanças e diferenças na concepção das barragens, principalmente, como já referido, a partir da década de 1930. Nas barragens de terra de maior envergadura não foi raro o uso de membranas internas de concreto ou de alvenaria para assegurar a impermeabilidade central, como no caso dos açudes de Quebra Unha (PE), Morcego (RN), Choró (CE), Lima Campos (CE), Engenheiro Ávidos (ex Piranhas, PB), São Gonçalo (PB) e Jaibara (CE), todos concluídos na primeira metade da década de 30. Era também uma forma de contornar as dificuldades no emprego de aterros diante da crônica escassez de solos adequados e da falta de água. Neste sentido, seria absolutamente impensável no Nordeste a utilização da técnica de aterro hidráulico, bastante empregada, na mesma época, no Sudeste do País.

Levando-se em consideração que a Mecânica dos Solos se encontrava em seus primórdios, os projetos de barragens no Nordeste seguiram uma vertente empírica, experimental, em que novas soluções eram propostas e submetidas ao enchimento dos reservatórios, fato que distinguia, inexoravelmente, os casos de sucesso dos insucessos.

Das barragens construídas na década de 30, diversas apresentavam não apenas septo interno de concreto ou de alvenaria, como também uma delgada laje de revestimento de concreto ou pedra argamassada, recobrindo o talude de montante e apoiada diretamente sobre o aterro compactado. Este é o caso, entre outros, do açude público de São Gonçalo (PB), ilustrado na **Figura 1.6**. Trata-se de um projeto desenvolvido sobre rochas do embasamento cristalino, removendo-se da região do núcleo o solo aluvionar permeável, mas preservando-o na fundação do tramo de jusante da barragem.



Figura 1.6 – Seção da barragem do açude público de São Gonçalo (PB) (IFOCS, 1936)

No meio da seção, a barragem apresenta, em sua porção superior, uma cortina de concreto armado encimando um muro drenante de pedra seca. Os conceitos de impermeabilização e drenagem estão aqui associados, o primeiro sobreposto ao segundo.

Já o projeto original do Açude Público Piranhas (PB), mais tarde denominado Engenheiro Ávidos, apresenta diversas particularidades. A seção da barragem é mista, formada por solo compactado na metade montante, seguida por enrocamento de pedras arrumadas na metade jusante. O talude montante, de declividade variável, é revestido por placas de concreto. O vertedouro, implantado no centro do maciço, é constituído por lajes de concreto armado apoiadas diretamente sobre o aterro (**Figura 1.7**).

Esta foi uma das três barragens desse tipo construídas no Ocidente na década de 30, tendo sido a única que resistiu, pois as demais ruíram com o primeiro extravasamento (DNOCS, 1982). Após mais de 30 anos de operação, tendo vertido diversas vezes com lâmina de até 105 cm, constatou-se a ocorrência de pequenos recalques com deslocamento de algumas placas de revestimento da laje do vertedouro. Este fato levou o DNOCS a consultar o *Bureau of Reclamation*

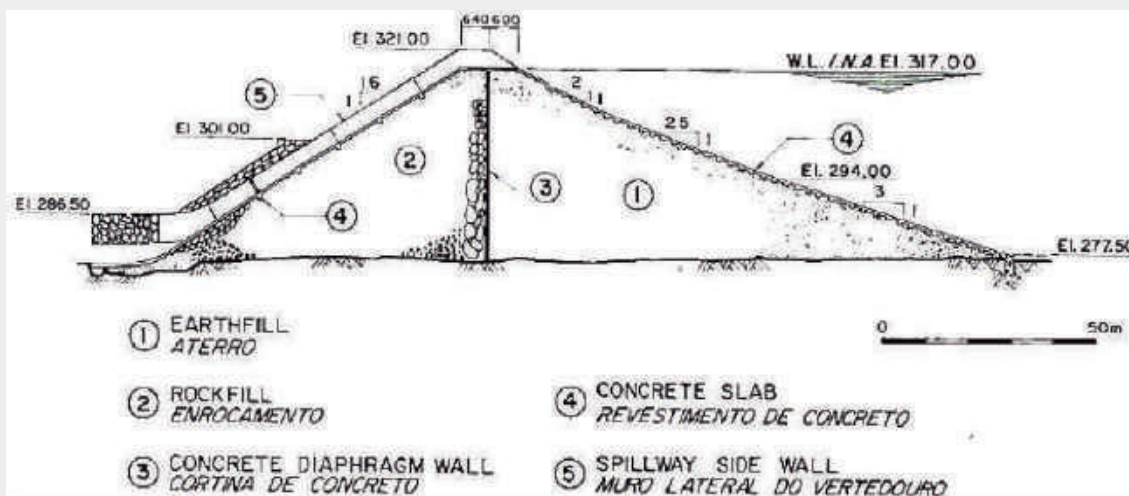


Figura 1.7 – Seção da barragem do açude público Piranhas (PB) (IFOCs, 1936)

dos Estados Unidos para verificação da segurança da barragem. Os técnicos norte-americanos optaram por uma modificação radical, recobrindo todo o paramento jusante de enrocamento para melhorar a estabilidade da obra, e construindo, na ombreira direita, um vertedouro controlado por duas comportas de segmento com capacidade de descarga muito ampliada em relação ao original. Recuperou-se a barragem, mas descaracterizou-se o projeto original.

Outras obras construídas no mesmo período incorporaram um sistema de drenagem formado por muro de pedras secas, entre elas os açudes de Condado (PB), General Sampaio (CE) e Curema (PB). Um muro de pedra seca em contato direto com o solo compactado do núcleo indica que, na época, ainda não havia sido incorporado o conceito de transição entre materiais de diferentes graduações. Esta não era peculiaridade do meio técnico do Nordeste, mas prática mundial. Os preceitos de transição somente seriam assimilados pela Engenharia de Solos na década de 40. No entanto, a seção do açude público Condado (PB), projetada em 1934, indica a existência de uma transição de areia grossa entre o material de 2ª ordem e o filtro chaminé de areia seca, sinalizando a possível incorporação do conceito de filtragem ao projeto (**Figura 1.8**).

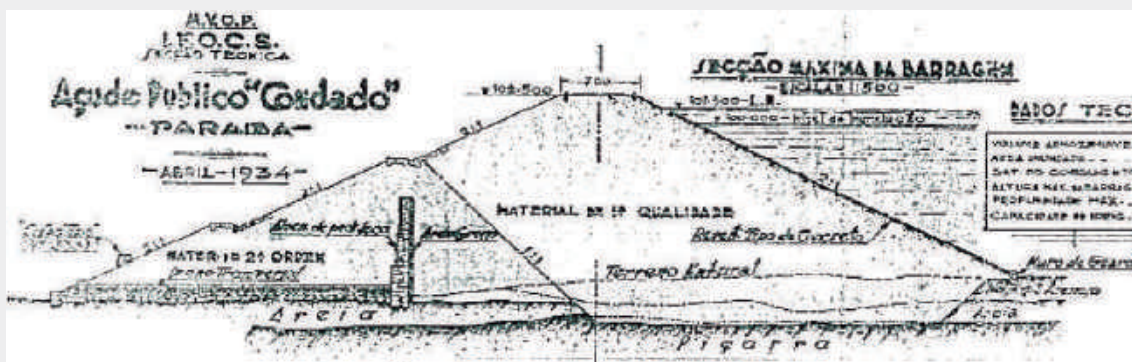


Figura 1.8 – Seção da barragem do açude público Condado (PB) (IFOCS, 1936)

Quanto às técnicas de compactação, fatores circunstanciais podiam ser determinantes. Na época da construção do açude Lima Campos (CE), o uso de equipamentos de terraplenagem ainda estava incipiente no IFOCS e a compactação do aterro foi feita empregando-se o sistema manual e de pisoteamento, de modo a aproveitar a mão de obra disponível, criada pela seca que se abateu sobre o Nordeste no ano de 1932 (**Figura 1.9**). De abril a dezembro daquele ano foi construído um maciço de 83.800 m³ de solo, equivalente a cerca de 330 m³ de produção diária.

Como as barragens tinham altura e volume modestos em cursos d'água intermitentes, era prática corrente a construção durar dois anos. No primeiro ano era efetuado o tratamento da fundação e, após o período chuvoso, era construído o maciço da barragem. Não raro, o maciço ganhava corpo nas duas margens e ombreiras, deixando um vão central livre que somente seria preenchido após o período de chuvas, durante a estiagem, dispensando a implantação de dispositivos de desvio.



Figura 1.9 – Construção do aterro do açude Lima Campos por compactação manual e pisoteamento (DNOCS, 1982)

Na maioria dos antigos projetos, o método empregado para determinar a capacidade do descarregador de cheias foi a fórmula empírica desenvolvida pelo engenheiro Francisco Gonçalves de Aguiar, com a qual se obtém a capacidade de descarga dos sangradouros em função da característica do *run off* da área de drenagem, da extensão do talvegue do principal curso d'água e de coeficientes próprios para a área de captação considerada.

Vertedouros empregados em vários projetos foram dimensionados para um período de recorrência de cem anos, com uma borda livre mínima (para a descarga de projeto) muito pequena, de apenas algumas dezenas de centímetros ou, até mesmo, para as condições de afluência da enchente de projeto. Isso era admitido até para as barragens de terra.

Apesar da acentuada predominância de barragens de terra, foram desenvolvidos diversos projetos em alvenaria de pedra e em concreto-gravidade. A pequena altura das barragens e a qualidade de suas fundações dispensavam tratamentos extensos de subsuperfície.

O DNOCS (IFOCS), órgão pioneiro na construção de barragens, tendo construído os principais reservatórios não destinados à geração de energia elétrica e realizado o maior número de açudes no Brasil, foi também precursor de avançadas tecnologias no País. Como exemplo, vale destacar que, apenas dois anos após o 1º Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Fundações, em 1936, o IFOCS instalou em Curema, no interior da Paraíba, um laboratório de solos e concreto destinado ao estudo e controle de materiais em barragens de terra.

A partir dos anos 50, os preceitos da moderna Geotecnia ultrapassaram as barreiras regionais e contribuíram decisivamente para eliminar o isolamento que prevalecia até então, graças aos eventos de caráter nacional promovidos pela recém-fundada Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS). Tanto no Nordeste, como na região Sudeste, as barragens de terra deixaram de incorporar elementos impermeabilizantes de concreto no meio de sua seção ou do lado de montante, passando a apresentar seções transversais não mais identificáveis por características regionais.

3.1.2 Barragens no Sudeste

O histórico de construção de barragens no Sudeste do País está intimamente associado com a geração de energia hidrelétrica. Entretanto, um número de pequenas barragens surgiu, concomitantemente, em função da necessidade de abastecimento de água para populações urbanas e atividades agropastoris. No entanto, sobre essas não foi encontrado registro representativo, tão somente notícias esparsas e fragmentadas.

Em 1883, no ribeirão do Inferno, bacia do rio Jequitinhonha, município de Diamantina, Estado de Minas Gerais (MG), foi implantada a primeira usina hidrelétrica do País. A usina dispunha de uma barragem que criava uma queda de cerca de 5 m, casa de força com duas máquinas Gramme de 8 CV (Cavalos Vapor) cada, com 1.500 rpm, gerando em corrente contínua, acionadas por uma roda d'água de madeira com 3,25 m de diâmetro. A linha de transmissão era de 2 km de comprimento, sendo a mais longa do mundo na época. A energia gerada se destinava, inicialmente, a movimentar duas bombas de desmonte a jato d'água para exploração de diamante, mas pouco depois passou a ser utilizada também para iluminação (Mello, 2011, pág. 90). Atividades minerárias motivaram a construção de uma segunda pequena usina hidrelétrica

em 1887, no ribeirão dos Macacos, localizada em Honório Bicalho, atual município de Nova Lima (MG). A usina aproveitava uma queda de cerca de 40 m, acionando uma roda d'água que movimentava dois dínamos Gramme, com potência total de 500 CV.

O primeiro aproveitamento hidrelétrico para suprimento urbano no País foi implantado por Bernardo Mascarenhas como benefício complementar ao suprimento de sua atividade industrial, tendo entrado em operação em 1889, no rio Paraibuna, município de Juiz de Fora (MG). A barragem era constituída por um maciço de enrocamento, impermeabilizado na face de montante por uma laje de madeira composta por pranchas aparelhadas. Trata-se da usina de Marmelos, com 252 kW de capacidade, em duas unidades geradoras acionadas por duas rodas d'água. Marmelos passou a simbolizar o início da era da energia elétrica gerada pela força das águas e suas instalações sofreram diversas reformas, sendo preservadas até hoje em museu mantido pela CEMIG e aberto à visitação (**Figura 1.10**).

Em comum, os empreendimentos hidrelétricos no Sudeste buscavam aproveitar quedas d'água naturais, sendo, em geral, a barragem uma simples estrutura de derivação de descargas, sem o propósito de aumentar a queda d'água e/ou regularizar a vazão para geração.

No final do século XIX e começo do século XX, o foco era, portanto, o aproveitamento de grandes quedas naturais, propiciadas, na região Sudeste, pela presença das extensas escarpas da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, que alcançam altitudes superiores a mil metros, encimadas



Figura 1.10 – Central Hidrelétrica Marmelos, em Juiz de Fora (MG) (Internet)

por planaltos e muito próximas ao alinhamento da costa atlântica e de centros urbanos. A iniciativa privada percebeu o potencial de consumo de energia representado pelos grandes núcleos urbanos regionais e recebeu a concessão necessária ao aproveitamento dos mananciais.

Grandes projetos hidrelétricos foram concebidos e materializados, principalmente nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, por grupos nacionais (Guinle, Cataguazes Leopoldina) e, predominantemente, por empresas estrangeiras (São Paulo Light, Rio de Janeiro Light e Amforp). Esta última era uma empresa norte-americana (*American Foreign Power*) que se instalou no Brasil em 1924 e desempenhou um papel importante no processo de desenvolvimento do sistema hidroenergético do País, incluindo as etapas de transmissão e distribuição de energia do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul. Na grande maioria desses projetos, as barragens eram de dimensões modestas, visto que a maior parte das quedas se devia aos desníveis oferecidos pelas condições de relevo.

Digna de registro para fins de exemplificação é a barragem de Lajes, que represa o ribeirão homônimo e abastece (ainda hoje) a usina hidrelétrica de Fontes, no pé da Serra das Araras, fazendo parte do sistema implantado pela Rio de Janeiro Light & Power Company a partir de 1905. O barramento, primeira grande barragem do País pelos critérios do ICOLD/CIGB, foi construído em arco gravidade com 32 m de altura, aproveitando uma queda natural de mais de 300 m. Em 1958, a barragem foi alteada. A **Figura 1.11** ilustra as duas etapas, mostrando a evolução da barragem de arco gravidade para contrafortes.

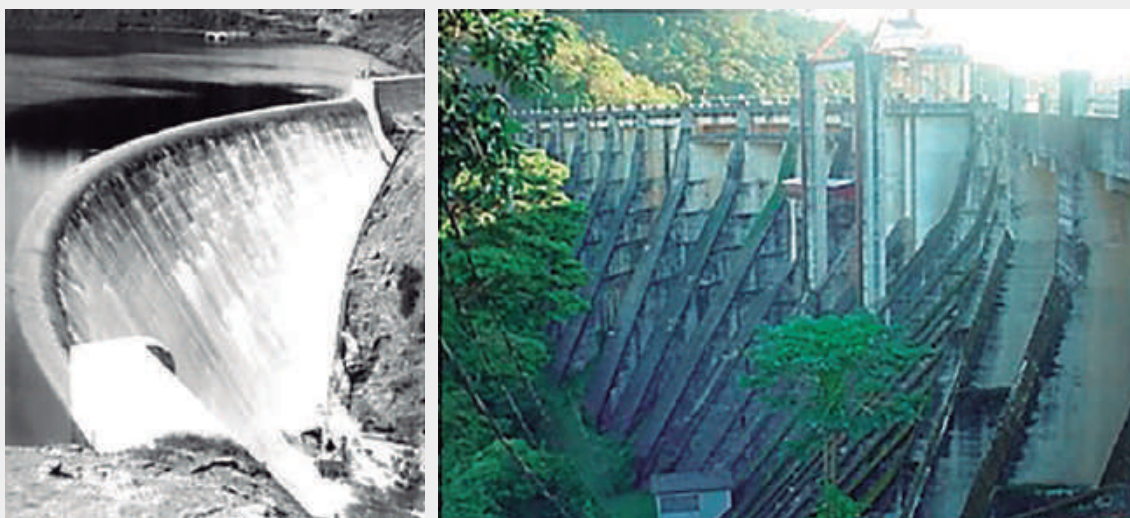


Figura 1.11 – Barragem de Lajes, no ribeirão das Lajes, em dois momentos: à esquerda, barragem inicial (Mello, 2011); à direita, a vista recente (Internet - <https://journals.openedition.org/espacoeconomia/docannexe/image/497/img-4.jpg>)

Um importante passo sob a inspiração positivista foi dado durante o primeiro governo Getúlio Vargas (1930 - 1945), com o cancelamento da Cláusula Ouro e a instituição, em 1934, do Código das Águas, que passou a representar a base jurídica para exploração hidrelétrica e, conseqüentemente, para o controle do Estado sobre o setor hidroenergético, o que provocou intenso retrocesso em investimentos no setor elétrico e drástico desabastecimento energético. O Código atribuiu à União o poder de autorizar ou conceder aproveitamentos de energia hidráulica, distinguiu a propriedade do solo da propriedade de potenciais e ofereceu ao Estado a possibilidade de controlar a atividade das empresas do setor através da fiscalização técnica, contábil e financeira (Oliveira, 2018). O cancelamento da Cláusula Ouro inviabilizou financeiramente as empresas de energia elétrica, gerando drásticos desincentivos a investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

O Código das Águas e o cancelamento da Cláusula Ouro foram incríveis retrocessos para a energia elétrica no Brasil. Por mais de duas décadas, enquanto outros países disparavam na implantação de centrais geradoras, o Brasil ficou patinando sem ampliar significativamente a oferta de energia elétrica. Isso obrigou alguns poucos governos estaduais, mesmo descapitalizados, a investir em geração de energia elétrica. Outros Estados entraram em carência de energia.

A partir dos anos 40, a paralisia dos investimentos no setor elétrico, até então predominantemente ou quase exclusivamente arcados por empresas privadas, e a crescente necessidade de geração de energia nas regiões Sul e Sudeste, motivaram governos estaduais e federal a instituir empresas estatais direcionadas para produção de energia elétrica. A fundação da CHESF em 1945, como empresa federal idealizada por Apolônio Salles, com o propósito de explorar o potencial do rio São Francisco em Paulo Afonso, foi seguida pela criação de outras empresas de âmbito estadual, como CEMIG (1951), COPEL (1953), USELPA (1953), EFE (1953), CHERP (1955) e ESCELSA (1956). Surgiram em seguida FURNAS (1957) e CELUSA (1961), além de um elevado número de empresas menores. A CEEE já havia sido instituída em 1943, no Rio Grande do Sul. A essas empresas deve-se a implantação de dezenas de grandes empreendimentos hidrelétricos que colocaram o País no grupo dos maiores geradores de hidroeletricidade, ao lado de Canadá, EUA, França e União Soviética.

Se os primeiros grandes empreendimentos contavam com a participação de empresas e profissionais estrangeiros no projeto e construção, estes cederam o lugar a empresas de Engenharia nacionais, que rapidamente se qualificaram para a concepção e implantação das grandes usinas dos anos 70, culminando com as gigantescas Itaipu e Tucuruí. A essa altura, a Eletrobrás já havia passado a coordenar o setor elétrico e, a partir de 1974, ampliou sua participação com a criação de mais duas empresas regionais: Eletrosul e Eletronorte. Estima-se que no período de 1961 a 1973 tenham sido construídas 58 barragens de grande porte (**Figura 1.12**).

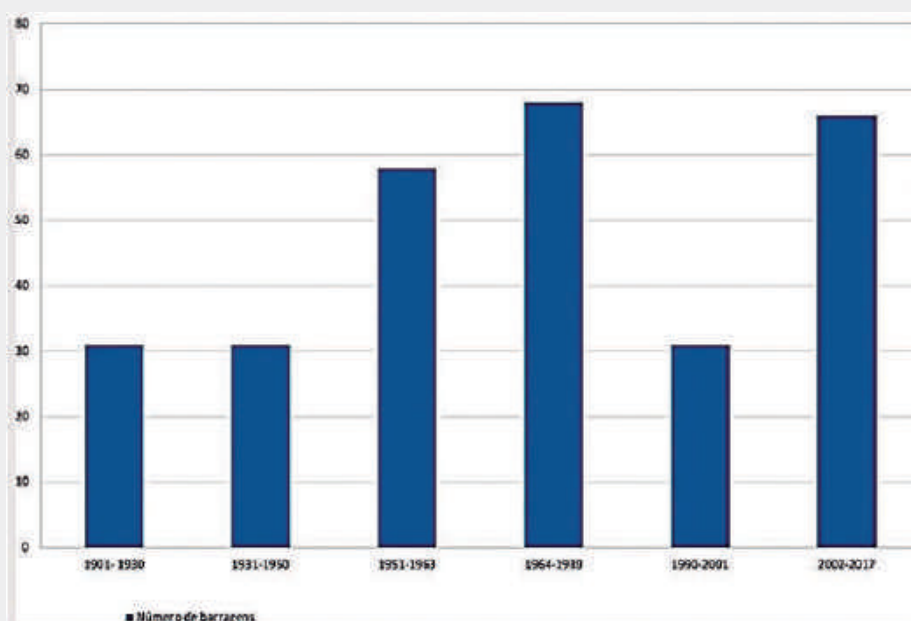


Figura 1.12 – Evolução do número de grandes barragens construídas no Brasil (Oliveira, 2018)

A expansão hidrelétrica foi baseada em dois pilares institucionais, a saber: o Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE), criado para substituir a Divisão das Águas como órgão normativo e regulatório do setor elétrico após 1965, e a Eletrobras, empresa responsável pelo planejamento e execução da política nacional de energia elétrica, ambos sob a responsabilidade do Ministério de Minas e Energia (MME) (Oliveira, 2018). Constata-se, na **Figura 1.12**, que no período de vigência do regime militar no Brasil (acrescentado de alguns anos, até 1989) foram construídas 68 grandes barragens associadas com a geração de energia elétrica. Entre elas estão: Itaipu, Tucuruí, Estreito, Jaguará, Marimbondo, Itumbiara, Paulo Afonso IV, Sobradinho, Itaparica, São Simão, Emborcação, Pedra do Cavalo, Foz do Areia, Salto Osório, Salto Santiago, Segredo, Itaúba, Água Vermelha, Jupia e Ilha Solteira. Assim, a capacidade de geração foi se expandindo de forma significativa. Até o final dos anos 80, aproximadamente, empresas estatais haviam sido o principal gestor do planejamento e da implementação de usinas hidrelétricas no País, sendo que estas atividades eram cercadas de elevados níveis de segurança. Tais níveis de segurança decorriam de vários fatores, dentre eles os diversos dispositivos de controle pelas próprias empresas, bem como pelos órgãos financiadores, nacionais e internacionais. Como resultado está a constatação de que a construção de barragens no Brasil no referido período foi afetada por poucos acidentes, conforme apontam os registros da ICOLD, onde apenas são citados os casos da Pampulha (1954 - MG), Orós (1960 - CE), Euclides da Cunha e Limoeiro (1977 - SP) e Santa Helena (1985 - BA).

Em meados dos anos 90, a iniciativa privada passou a participar ativamente do processo de geração de energia elétrica a partir de fontes hidráulicas, tanto na área de pequenas centrais (PCHs), quanto de usinas maiores (UHEs). Concebidos em novos critérios de negócio, os empreendimentos passaram a ser conduzidos e balizados por procedimentos construtivos que privilegiavam o encurtamento de prazos e cronogramas e orçamentos enxutos. Ao mesmo tempo, se passou a aceitar o convívio com níveis de riscos geológicos e hidrológicos mais acentuados durante as construções. Os resultados não demoraram a se manifestar e o grande número de novos empreendimentos (**Figura 1.12**) foi acompanhado por incremento no número de incidentes e acidentes.

A conscientização das implicações socioambientais do processo de construção de barragens surgiu, ainda que de maneira tímida, nos anos 70, quando a sociedade começou a questionar os reflexos negativos da inundação de amplas áreas do território, da remoção compulsória e reassentamento de núcleos populacionais, das modificações ambientais decorrentes. As vozes se avolumaram e a sociedade impôs a adoção de leis ambientais pelos órgãos de licenciamento para balizar os novos empreendimentos. Assim como em todos os

empreendimentos de infraestrutura, estudos de avaliação ambiental passaram a ser parte dos projetos das novas barragens e a condicionar aprovação e continuidade. As formas de indenização passaram a ser mais corretas após a adoção da legislação ambiental.

Constata-se como foram diferentes os caminhos seguidos no processo de implantação de barragens entre as várias regiões do País, resumidamente divididos nos dois polos Nordeste e Sudeste. A polarização entre as duas regiões não faz justiça, entretanto, a outros contextos geográficos, onde as atividades econômicas e fatores regionais orientaram de formas diversas o processo de construção de barragens.

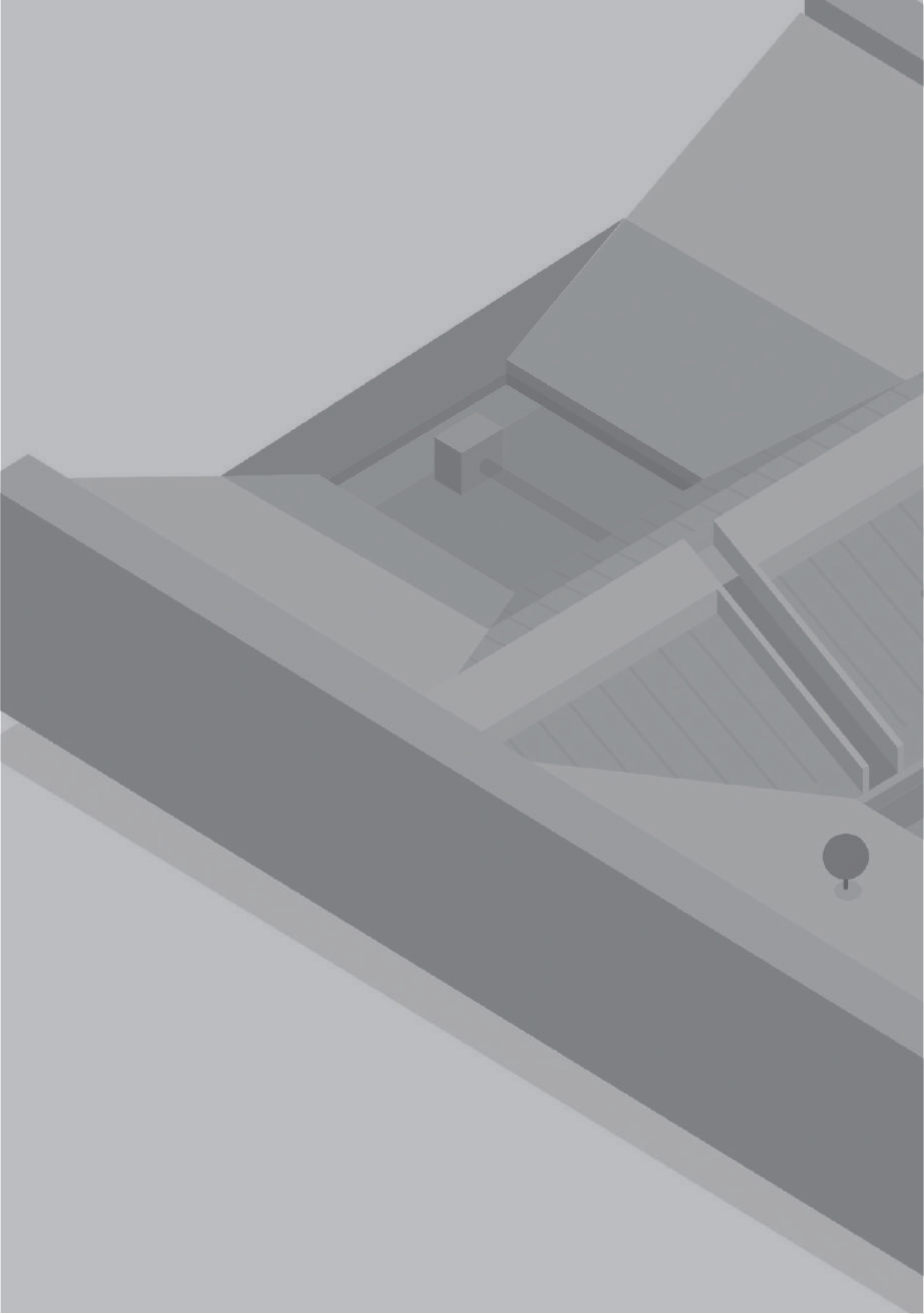
O contexto geográfico com maior destaque é o dos territórios ocupados por atividades minerárias, onde as barragens desempenham papéis diferenciados. As atividades minerárias no Brasil datam, pelo menos, de 300 anos. Primeiramente, com o ciclo da exploração de ouro, seguido pelo advento da exploração dos minérios de ferro, de manganês e de outros produtos primários metálicos. Por muito tempo, as incipientes atividades de mineração descartaram seus resíduos nas vizinhanças das zonas de mineração, sem qualquer preocupação com reflexos e consequências em áreas localizadas a jusante.

Tanto no Brasil como em outros países foi somente a partir da década de 1930 que passou-se a adotar a prática de despejar os resíduos em bacias confinadas por aterros construídos por procedimentos empíricos. A partir da década de 40 passou-se a empregar técnicas de compactação por meios motorizados e iniciou-se a adoção de práticas baseadas nos princípios da Mecânica dos Solos, recém-chegados ao Brasil e ainda em pleno desenvolvimento em âmbito internacional.

Grande número de mineradoras, entretanto, continuou adotando os tradicionais métodos empíricos, baseados em experiências anteriores bem sucedidas. O incremento nas exportações de matéria-prima exigiu o aumento acelerado de produção, com reflexos diretos nos volumes de rejeitos armazenados em áreas cada vez mais escassas, o que resultou na construção de reservatórios com dimensões gradativamente maiores.

Considerando que o despejo de rejeitos de mineração não representa uma atividade fim, podendo ser julgado um inconveniente na operação das empresas, a construção de barragens de rejeitos passou, em alguns casos, a ser levada a termo sob o princípio de adoção dos menores custos possíveis, ao amparo das normas de segurança vigentes em cada período histórico. A área de construção de barragens de rejeitos de mineração apresenta, proporcionalmente ao número de empreendimentos, elevados índices de insucessos no País, pontilhada por numerosos acidentes.

À área de acidentes em barragens de mineração é dedicado o **Capítulo 7**.





CAPÍTULO 4

Coletânea de acidentes e incidentes

Dos casos de acidentes e incidentes que afetam anualmente barragens no Brasil, principalmente por ocasião das estações de chuvas intensas, somente um reduzido número alcança os meios de comunicação. Trata-se, na maioria dos casos, de eventos de proporções relevantes que provocaram danos e interferências em áreas urbanas, povoados, vias de comunicação e áreas agricultáveis.

Na maioria dos casos, os registros de acidentes e incidentes são divulgados por cobertura jornalística, permanecendo na mídia por algum tempo, sendo em seguida relegados ao esquecimento. Somente os casos de maior repercussão são objeto de ulteriores indagações, mais aprofundadas e duradouras. Alguns acabam merecendo a atenção de equipes técnicas e estudos de maior alcance.

Para o presente livro foram selecionadas 160 barragens (algumas com mais de um incidente ou acidente, totalizando 166 eventos) que contaram com alguma forma de registro, sendo que alguns casos foram objeto de estudos mais aprofundados.

A **Tabela 1.8** apresenta uma seleção de barragens acidentadas, em ordem alfabética, com a data do evento e relaciona, em cada caso, as fontes de consulta na literatura nacional. Na coluna da direita é feita referência à qualidade da informação disponível, definida em três níveis, desde a simples cobertura jornalística que tem função informativa, sem maior compromisso com a natureza e causas do evento, até a documentação técnica, subdividida em dois níveis, em função do grau de aprofundamento na questão. Resumidamente, cerca de 40% dos casos selecionados possuem cobertura técnica adequada, enquanto em outros 40% a cobertura técnica pode ser considerada escassa. No restante (20%), o registro tem natureza jornalística.

A coluna de fontes e referências traz o sobrenome do autor ou a fonte de consulta. Em se tratando, por exemplo, de informação obtida na Internet, há o acréscimo do ano de edição. Uma relação detalhada de fontes e referências consta no **Capítulo 11**.

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
1	Açu (RN)	15/12/1981	Pessoa1964 Carvalho&outros1981 Carvalho1982 MelloVFB1982 MelloFM&Ávila1985 Sandroni1986 (pág. 461-472) Pessoa1987 Cruz1996 CBDB2000(Açu) Sandroni2010 Amorim2013	Documentação técnica
2	Agrovila 1 (Santa Júlia) (ES)	15/01/2018	RSB-ANA2018 FolhaVitória2019 RedeGazeta2019	Documentação jornalística
3	Agrovila 2 (Alto Santa Júlia) (ES)	15/01/2018	RSB-ANA2018 FolhaVitória2019 RedeGazeta2019	Documentação jornalística
4	Água Vermelha (José Ermírio de Moraes) (SP/MG)	Janeiro/1980	Duo&outros1983 Oliveira&outros1985 Mello, FM1985 Rodrigues&Pereira1991	Documentação técnica
5	Aipim (BA)	Março/2001	Amorim2001 Facchinetti2008 Medeiros2008	Documentação técnica
6	Algodões I (PI)	27/05/2009	DNOCS2003 Cotrim&Guidicini2008 Medeiros2010 Sampaio2014 Sayão2017 MelloFM2019	Documentação técnica
7	Alois Partel ou Monjolinho (SP)	1969	Eletrobras2000	Documentação técnica escassa
8	Alto Grande ou Serra Branca (BA)	04/01/2016	RSB-ANA2016(Pág.156)	Documentação técnica escassa

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
9	Analândia (SP)	18/01/2011	RSB-ANA2011(pág.49)	Documentação técnica escassa
10	Anel de Dom Marco (RS)	12/04/1973	Molina1976 Silva Filho&outros1981	Documentação técnica
11	Angiquinho (AL)	1929	MelloFM2011 Wikipedia2020	Documentação técnica
12	Apertadinho (RO)	09/01/2008	Nieble&outros2008 Andriolo2008 Medeiros2008 MelloFM&Viotti2008 ABMS2008 Nieble&outros2009 CâmaradosDeputados2009 Pastore&outros2015 Andrade2016 Pastore2018	Documentação técnica
13	Araras (Paulo Sarasate) (CE)	Não determinada	Pessoa1964 DNOCS s/data Silva&Silva2013	Documentação técnica
14	Arneiroz II (CE)	Janeiro/2004	Menescal2007 SIRH/CE	Documentação jornalística
15	Assis Chateaubriand ou Salto do Mimoso (MS)	04/03/2011	ANEEL2011 AGEPAN2019 nossafohnews2019-Internet	Documentação técnica escassa
16	Bacanga (MA)	17/09/2015	CBGB1982 RSB-ANA2015 (pág.123) Blognetto2015	Documentação técnica escassa
17	Baixo Iguaçu (PR)	08/06/2014	Kuperman&Moretti2017 Branco&Rahuan2017 MelloFM2019	Documentação técnica
18	Balneário Paraguaçu (SP)	06/01/2007	Internet-FolhaUol2007	Documentação jornalística
19	Banabuiú (Arrojado Lisboa) (CE)	1961	Pessoa1964 DNOCS1982 (pág.77-79) DNOCS-Internet-2018	Documentação técnica escassa
20	Bandeira de Mello (BA)	Fevereiro/2005	Facchinetti2008	Documentação técnica escassa

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
21	Barcarena (PA)	27/04/2009 e 17/02/2018	CâmaradosDeputados2018 WISE2019 OGlobo2019	Técnica escassa
22	Barreiras (PI)	Diversas datas	Carvalho&Trindade1976 CBDB1986 Lagoadorato2016	Documentação técnica
23	Barreiros (PE)	03/03/2017	RSB-ANA2017 FCSBrasil-Internet	Documentação técnica escassa
24	Batalhão (CE)	Deterioração gradual	Monte2014 COGERH2016 COGERH2018	Documentação técnica
25	Bezerro (PI)	08/04/2018	JairSampaio2018-Internet	Documentação jornalística
26	Bicas (MG)	05/11/2015	ABRAPCH2019 ANEEL2019	Documentação jornalística
27	Bocaina (RJ)	1940 e 1950	Eletrobras2000	Documentação técnica escassa
28	Bocaiúva (MT)	18/01/2010	Medeiros2015 CBDB2015 Silveira2017	Documentação jornalística
29	Bom Retiro (RS)	1977 e 1989	Rottmann1991	Documentação técnica
30	Boqueirão das Cabaceiras (Epitácio Pessoa) (PB)	Datas diversas e duvidosas	Pessoa1964 DNOCS s/data Oliveira2008	Documentação técnica
31	Brumadinho (MG)	25/01/2019	Morgenstern&outros2016 CâmaradosDeputados2019 ANM2019 Robertson&outros2019 CIAEA2020	Documentação técnica
32	Cachoeira Caldeirão (AP)	07/05/2015	RSB-ANA2016	Documentação jornalística
33	Cacimba Nova (PE)	16/02/2017	RSB-ANA2017 Tyba.com-Internet	Documentação técnica escassa
34	Cafundó (RS)	19/01/2010	SilvaETG2012	Documentação técnica escassa

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
35	Caldeirão (PI)	Diversos eventos desde 1956	Pessoa1964 Ladeira2007 DNOCS2018	Documentação técnica escassa
36	Calheiros (RJ)	2010 e 2017	RSB-ANA2011 AtenasNotícias2018-Internet	Documentação técnica escassa
37	Camará (PB)	17/06/2004	Barbosa&outros2005 Nieble2006 Nieble2008 Andriolo2008 Kanji2008bis Medeiros2008 Broberg&Thorwid2015 Abrahão&Degaspere2016 Sayão2017	Documentação técnica
38	Campos Novos (SC) (Barragem)	Outubro/2005 18/06/2006	Antunes&outros2007 Xavier&outros2007 Menescal2007 Xavier&Correa2008 Medeiros2008 Xavier2009 Cruz&outros2014	Documentação técnica
39	Campos Novos (SC) (Túneis de desvio)	20/10/2005 18/06/2006	Xavier&Correa2008 Xavier2009 Cruz&outros2014 MelloFM2016	Documentação técnica
40	Candonga (UHE Risoleta Neves) (MG)	05/11/2015	RSB-ANA2016 Fernandes&outros2017	Documentação técnica
41	Carão (CE)	1980	Baima2015 Sandroni2017	Documentação técnica escassa
42	Castro Alves (RS)	Três eventos em 2017	Silveira&outros2017	Documentação técnica
43	Cataguases (MG)	29/03/2003	Gonçalves2006 Silva&outros2006 CETEM2012 Menescal&diMauro2015 Vianna2015 Medeiros2016 Rocha2016 Carvalho, E.2016	Documentação técnica

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
44	Caxitoré (CE)	1959	Pessoa1964 DNOCS s/data CBDB1986 Oliveira2008	Documentação técnica
45	Coaracy Nunes ou Paredão (AP)	1975 e 1977	CBGB1982 MelloFM.1985	Documentação técnica
46	Cocorobó (BA)	Dezembro/ 1967	MelloFM2016 Sandroni2017 (pág. 458-460) DNOCS2018	Documentação técnica escassa
47	Coronel Soares (Jales) (SP)	17/01/1977	MococaAntiga – Internet Eletrobras2000	Documentação técnica escassa
48	Corumbataí (SP)	16/11/1895 e 1970	CBGB1986 Eletrobras2000 PradoJr&Amaral2000 Secco (Corumbataí) Sem data FEM-UNICAMP-Sem data	Documentação técnica escassa
49	Coxim (Dr. Vitor Andrade Brito) (MS)	1982	Eletrobrás2000	Documentação técnica escassa
50	Crixas – Barragem MSG (GO)	1994	Andrade&Leone2006 CETEM2012(Crixás) Ribeiro2018 G1.globo2020 Est.GoiásPoderJudic.2020	Documentação técnica escassa
51	Curuá-Una ou UHE Sílvio Braga (PA)	Diversos eventos	Lepecki&outros1970 Ferrari1973 Celpa1997 Amorim&outros1976 Haberlehner1980 Pierre&outros1982 Ligocki&outros2003	Documentação técnica
52	Custódia (PE)	09/06/2017	MidiaBahia2017 - Internet	Documentação jornalística
53	Delmiro Gouveia – Barragem Leste (AL)	Sem data definida	Souza2018	Documentação técnica

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
54	Derivação do rio Cubatão (SC)	09/02/2015	Menescal&DiMauro - Sem data Silveira&outros2009 Haak&Oliveira2018	Documentação jornalística
55	Dique B3 – Ipê Brumadinho (MG)	02/03/2016	RSB-ANA2016(pág.167) FEAM-MG-PlanilhaBarragens FEAM-MG2017	Documentação técnica escassa
56	Duas Bocas (ES)	1940	Geotécnica1990 RSB-ANA2014(pág.109) Sandroni2017	Documentação técnica
57	Ema (CE)	1940	Pessoa1964 Baima2015 (pág. 89) SRH-CE-2016 Sandroni2017	Documentação técnica escassa
58	Emas Novas (Usina Mogi-Guaçu) (SP)	10/02/1995	Pires&outros1998 Ladeira2007	Documentação técnica
59	Emborcação (MG/GO)	Novembro/ 1981 a Abril/1982	Viotti&outros1983 Parra1985 Viotti1997 CBDB2000 Divino2010 MelloFM2011 Silveira2016	Documentação técnica
60	Engordador (SP)	28/02/1998	Negrini&outros1999 Kuperman2017	Documentação técnica
61	Espora (GO)	30/01/2008	Andriolo2008 Medeiros2008 ABMS2008 Andrade2016	Documentação técnica escassa
62	Estevam Marinho - Sistema Curema - Mãe D'Água (PB)		Marinho1939 Pessoa1964 DNOCS1982 Ladeira2007 Santos2015	Documentação técnica
63	Estreito (Luiz Carlos Barreto de Carvalho) (MG/SP)	1969 a 1992	CBGB1982 CarvalhoE2002	Documentação técnica

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
64	Euclides da Cunha (SP) (Efeito cascata)	19/01/1977	Vargas1963 Siqueira1978 Budweg1982 MelloFM1985 MelloFM1997 Vianna2015 CarvalhoE2016bis Medeiros2016 ABGE2017(RioPardo)	Documentação técnica
65	Eugênio Gudín – Ex Acarape do Meio (CE)	1912	Baima2015 DNOCS1982 DNOCS2008	Documentação técnica
66	Fazenda Felícia (GO)	20/02/2016	RSB-ANA2016 PolíciaCivil2018- Internet	Documentação jornalística
67	Fernandinho (MG)	16/05/1986	Parra&Lasmar1987 ICOLD2001(pág.103) Medeiros2016 Viotti2016	Documentação técnica
68	Fontes Velha (RJ) (Chaminé)	04/03/2004	Silva&outros2005	Documentação técnica
69	Fontes Velha (RJ) (Dique 4)	09/03/1960	Domingues&Pais1985 CBGB1986 MelloFM1985 MelloFM&SilvaNeto2011 CBGB2011	Documentação técnica
70	Foz do Chapecó (SC)	28 e 29/06/2014	Carvalho2016 ExpressodoOeste2017 Cantarino2018	Documentação técnica escassa
71	Fundão (MG) Efeito cascata	05/11/2015	Rezende2013 IBAMA-Nov2015(Fundão) IBAMA-Dez2015(Fundão) Morgenstern&outros2016 PolíciaFederal2016	Documentação técnica
72	Furnas (MG) (Reservatório)	12/01/1969	Szpilman&Ren1975 CBDB1986 Carvalho E.&outros1991 MelloFM1985 ABGE2017(Furnas) MelloFM2019	Documentação técnica

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
73	Furnas (MG) (Túneis de desvio)	Diversas épocas: 05/04/1965	Lyra1967 Lyra&MacGregor1967 ICOLD1974(Furnas) MelloFM1985 CBDB1986 MelloFM2009	Documentação técnica
74	General Sampaio (CE)	1940	Pessoa1964 DNOCS s/data AnoticiadoCeará2017	Documentação técnica
75	Granada (MG)	Janeiro/2003	Vieira&outros2003 Almeida2006	Documentação técnica
76	Granjeiro (CE)	13/03/2019	Diário do Nordeste Verdes Mares	Documentação jornalística
77	Guaíba Country Club (RS)	Primeiro evento sem data certa. O segundo em 1977.	Coulon1978	Documentação técnica
78	Guarapiranga (SP)	Janeiro/1976	NegroJr1979 França1985 CBDB1986	Documentação técnica
79	Herculano – Barragem B1 – Retiro do Sapecado (MG)	10/09/2014	ANA2014 Galo2016 FEAM-MG2016 Medeiros2016 Viotti2016	Documentação técnica
80	Ingá (RJ)	Fevereiro/ 1996 e diversas outras datas	Pinto&Barros2006 CETEM2012(Ingá) Lindolfo2015	Documentação técnica
81	Inxu (MT)	06/06/2015	RSB-ANA2015(pág.122) MelloFM2016 Pereira2020	Documentação técnica escassa
82	Itapebi (BA)	07/07/2001	Resende&outros2003 Nieble2006 Nieble2008	Documentação técnica
83	Itaúba (RS)	Outubro/1978	CBDB1982 Holk2002	Documentação técnica
84	Itaúna (CE)	Abril/2001	Souza&outros2002 COGERH2004(pág.146) Internet –Camocimportal SIRH/Ce2015	Documentação técnica

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
85	Izabel (SP)	16/02/1990	Franca&outros1992	Documentação técnica
86	Jaburu I (CE)	Diversas épocas	Carvalho1981bis Carvalho1991 Carvalho1991bis Coba2000 Oliveira&outros2001 Souza&outros2005 Sousa2013 RSB-ANA2012-2013 COGERH2018	Documentação técnica
87	Jacareí (SP)	06/02/2016	G1.globo-Internet-2016	Documentação jornalística
88	Jaguara (MG/SP)	1966 a 1971	Silveira1997 Sucharov2002	Documentação técnica
89	Jaó (GO)	Entre dezembro/1944 e março/1945	Eletrobras2000 Znamensky2005	Documentação técnica
90	Jati (CE)	21/08/2020	Magna/Themag2020 OPovoOnline2020 PortaldoLitoralPB2020	Documentação jornalística
91	Joana (PI)	Junho/2004	DNOCS2003 Miranda&outros2005 portalodia2016 – Internet	Documentação técnica escassa
92	João Penido (MG)	Várias datas	Ladeira2007 Sandroni2017	Documentação técnica escassa
93	Joasal (MG)	Não determinada	Eletrobras2000 Oliveira2008 CEMIG2019	Documentação técnica
94	Jucazinho (PE)	Fevereiro/2004	Souza2018 MTCGU2017 TCU2018 TCU2019	Documentação técnica
95	Jucu (ES)	14/06/1985	Eletrobras2000	Documentação técnica escassa
96	Juturnaíba (RJ)	Vários eventos	Cruz1996 AGENERSA2015 AGENERSA2017	Documentação técnica

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
97	Labourier Coogal (AP)	Janeiro/2018	Neves2018 PortalAP2019-Internet	Documentação técnica escassa
98	Lages (MG)	Fevereiro/1992	CEMIG2006 Eletrobras2000	Documentação técnica escassa
99	Lavras (SP)	1929	Eletrobras2000 História alto blogspot2019	Documentação técnica escassa
100	Lençóis (SP)	Março/1962	CBDB1986 Eletrobras2000	Documentação técnica escassa
101	Lima Campos (CE)	Sem data estabelecida	DNOCS1982 MelloFM2011 MelloFM2011bis Queiroz2018 Diário do Nordeste (28/01/2019) DNOCS – Sem data	Documentação técnica escassa
102	Limoeiro - Armando de Salles Oliveira (SP)	19/01/1997	Siqueira1978 Budweg1982 Mello, FM1985 Mello, FM1998 Vianna2015 CarvalhoE2016bis Medeiros2016 ABGE2017	Documentação técnica
103	Macabu (RJ)	04/02/1961	CELF1972 CMEB1993 SecretariaERJ2006	Documentação técnica
104	Machadinho d' Oeste (RO)	29/03/2019	ANM2019 Wikipedia2019	Documentação técnica escassa
105	Marimbondinho (SP/MG)	1929	Mello, FM1985 Eletrobras2000	Documentação técnica escassa
106	Marimbondo (MG)	Diversas épocas	Ávila&outros1983 Carvalho, E.2010 Carvalho, E.2016	Documentação técnica
107	Melo Viana (MG)	1979/1980	SUPRAM-ZM2018	Documentação jornalística
108	Mina do Engenho (MG)		Exameabril2019 FEAM-MG2016	Documentação jornalística

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
109	Mirai – Mineração Pombas (MG)	03/03/2006 10/01/2007	Menescal2007 Ávila, in Rocha2015 ABMS2008 CETEM2012 Vianna2015 Medeiros2016 Rocha2015 Rocha2016 Carvalho, E.2016	Documentação técnica
110	Moxotó (Apolônio Sales)	1974	Souza&Souza1992 Silveira1997	Documentação técnica
111	Mulungu (PE)	1981	SIRH/CE2015 Sandroni2017	Documentação técnica escassa
112	Namorados (PB)	03/04/2008	Rede Click-Internet Silveira2017	Documentação jornalística
113	Nilo Peçanha (Casa de Força) (RJ)	22-23/01/1967	Jones1973 SilvaNeto2005 Mello2011 tris	Documentação técnica
114	Nilo Peçanha (Túnel de adução) (RJ)	1954	Vaughan HGAcresLtd1971 EPRI1987	Documentação técnica
115	Nossa Senhora do Livramento (MT)	01/10/2019	ExameAbril2019 WiseUraniumProjecto2019	Documentação jornalística
116	Nova Sinceridade (MG) – Benjamim Mário Batista	29/06/2018	Internet	Documentação jornalística
117	Orós (Barragem) (CE)	26/03/1960	Munarski1959 Coriolano1962 Pessoa1964 ICOLD1974 CarvalhoLH1981 DNOCS1982 Budweg1982 MelloFM1985 CBDB2000 MelloFM2011 MelloFM2011 bis Aguiar2014 CarvalhoE2016	Documentação técnica

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
118	Orós (vertedouro) (CE)	1965	MelloFM1978 DNOCS1982 CBDB2002 MelloFM2011	Documentação técnica
119	Pacajús (CE)	Diversos eventos	Fontanelle&outros2007	Documentação técnica
120	Palmácia (CE)	Diversas datas	COGERH2007 Menescal&DiMauro OliveiraJRO2008	Documentação técnica escassa
121	Pampulha (MG)	10/04/1954	Vargas&outros1955 Budweg1982	Documentação técnica
122	Paranapanema (SP)	Julho/1983	Eletrobras2000 Estância Turística Piraju-Internet Eletromemória-Internet	Documentação técnica escassa
123	Paranoá (DF)	1960	Gaioto1981 CBDB1986	Documentação técnica
124	Pari (SP)	1937	Eletrobras2000 Eletromemória2019-Internet	Documentação técnica escassa
125	Passo do Meio (RS)	24/julho/2020	Brookfield2020 CREA-RS2020 UFRJ-GESEL2020	Documentação técnica escassa
126	Pedra Furada (PE)	05/11/2011	RSB-ANA2012-2013 (pág.63)	Documentação escassa
127	Peixoto (Mascarenhas de Moraes) (SP)	1953 a 1956	MeloFM&Rocha1992 CarvalhoE2009	Documentação técnica
128	Peti (MG)	Não há uma só data	CEMIG2006 Balbi2008 Oliveira2013	Documentação técnica
129	Piau (MG)	Diversos eventos	CBDB1986 CEMIG2006 CruzJF&outros2006 CruzJF2007 Balbi2008	Documentação técnica
130	Piaus (PI)	2009	Miranda&outros2011	Documentação técnica
131	Pico São Luiz (MG)	Junho/1985 Julho/1986 Outubro/1986	Parra&Ramos1987 ICOLD2001(pág.140) Soares2010	Documentação técnica

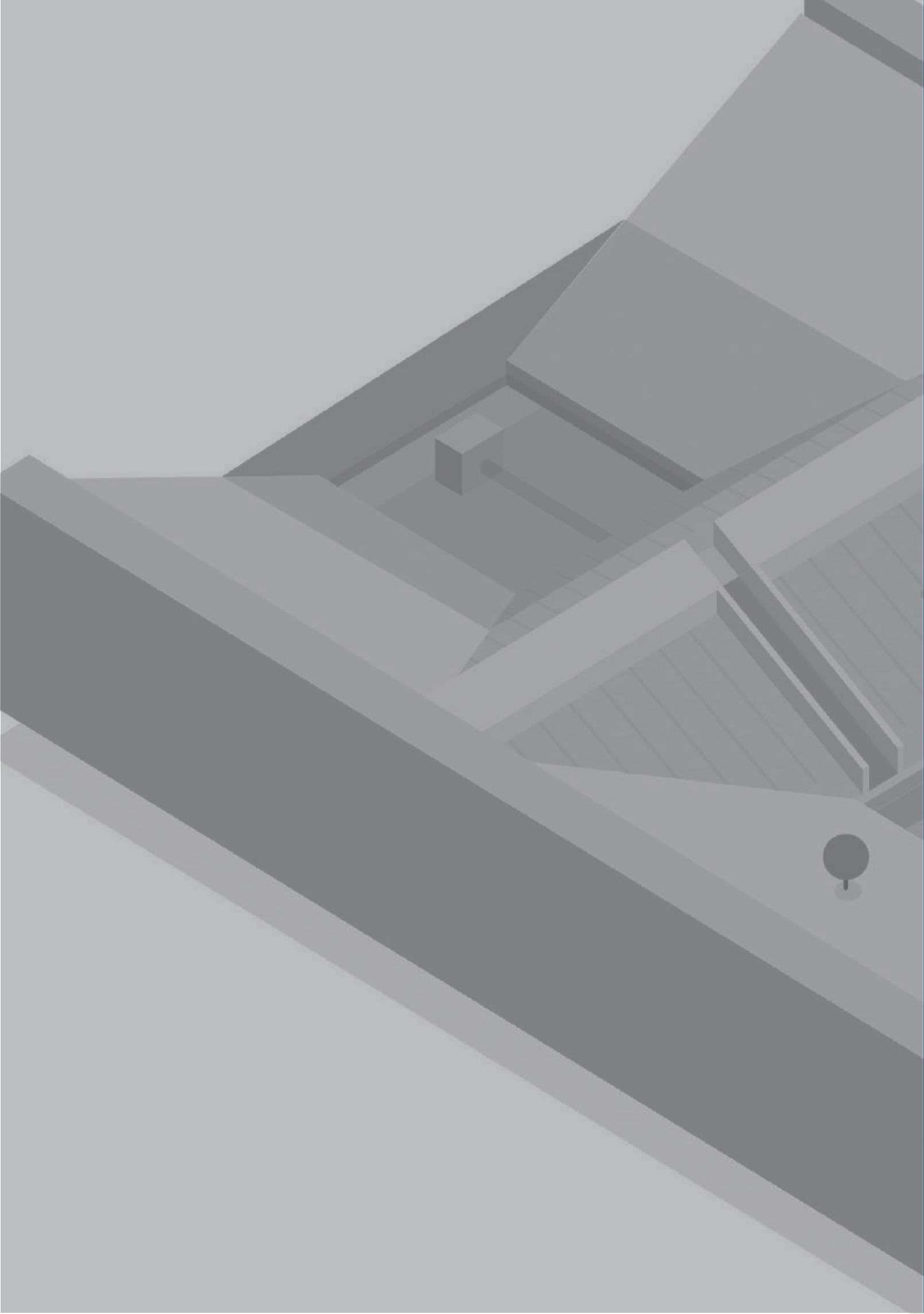
Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
132	Piranhas (PB) (Engenheiro Ávidos)	Sem data definida	DNOCS s/data	Documentação técnica
133	Pitinga (AM)	1992, 2014 e 04/08/2015	Cruz&outros1990(Pitinga) Pastore1992 MineraçãoTaboca2015	Documentação técnica
134	Pontalina (GO)	04/01/2020	G1.globo2020	Documentação jornalística
135	Poquim (MG)	1979	Viotti1991 Silveira1997 CEMIG2006Silveira2017 Itypedia2017 Gomes2020	Documentação técnica
136	Porto Colômbia (SP/MG)	Outubro/1983	MelloFM1973 Bell1989 Carvalho&outros CarvalhoE2009	Documentação técnica
137	Poxoréu (MT)	Não há uma só data	Eletrobras2000	Documentação técnica escassa
138	Quati (BA)	11/07/2019	G1.globo- Internet correio24horas - Internet agenciabrasil.ebc - Internet	Documentação jornalística
139	Rasgão (Barragem) (SP)	1978	Budweg&outros1985 MelloFM1985 Mello&outros1990	Documentação técnica
140	Rasgão (TA/CF) (SP)	1958	Machado&outros1987 Eletrobras2000	Documentação técnica escassa
141	Riacho do Sangue (Boqueirão) (CE)	Março/1917, 1921 e 1924	Pinheiro2001	Documentação técnica
142	Rio de Pedras (MG)	Janeiro/1997	FolhaUol1997 Costa&outros2000 CEMIG2006 FolhadeSabará2020	Documentação jornalística
143	Rio Largo (AL) (Efeito cascata)	14/03/1969 25/06/20	Mello&Pires2010 FragosoJunior&outros 2010 Medeiros2015bis Ticianeli2016	Documentação técnica escassa

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
144	Rio Verde (MG)	22/06/2001	Medeiros2008 CBDB2012 Vianna2015 Carvalho, E.2016 Medeiros2016 CETEM2016(RioVerde) Menescal&DiMauro	Documentação técnica
145	Rosário (CE)	27/01/2004	Fontanelle&outros2007	Documentação técnica
146	Rudolf Heidrich (SC)	11/07/2017 23/02/2019	MPSC2017-Internet DefesaCivilTaio2017 Oblumenauense-Internet 2019	Documentação técnica
147	Sá Carvalho (MG)	Março/1997	Brito1998 Coppedê&outros2009	Documentação técnica
148	Salto Osório (PR)	26/09/2011	RSB-ANA2011 CarvalhoE2016	Documentação técnica escassa
149	Salto Santiago (PR)	1983 a 1992	Andrzejewski,2010 CBGB1982	Documentação técnica
150	Santa Branca (SP)	Julho/1976	CBDB1986 Santos&Domingues1991 Mello1997	Documentação técnica
151	Santa Cruz (RN) (Efeito cascata)	01/04/1981	DNOCS1982	Documentação técnica
152	Santa Helena (BA)	08/05/1985	Medeiros&Amorim2003 Sandroni2008(PowerPoint) Oliveira2012 Amorim2016 Menezes2016	Documentação técnica
153	Santa Helena (RJ)	Diversos eventos	Guidicini&outros1996 Eletrobras2000	Documentação técnica
154	Santarém (MG) (Efeito cascata)	05/11/2015	RSB-ANA2016(pág.164) Milanez&Losekann2016	Documentação técnica

Nº	BARRAGEM	DATA DO EVENTO	FONTES	TIPO DE DOCUMENTAÇÃO
155	Santa Rosa II (RJ)	12/01/2011	ANEEL1(Santa Rosa II) ANEEL2(Santa Rosa II)	Documentação técnica escassa
156	Santo Antônio do Jari (AP)	29/03/2014	RSB-ANA2014 (pág. 105)	Documentação técnica escassa
157	São Domingos (TO)	27/01/1990	Guidicini&Lousa1994 Guidicini&Lousa1994bis Eletrobras2000	Documentação técnica
158	São João (PR)	1983 e 1991	Eletrobras2000 Brisada2019-Internet Gazetadopovo2019-Internet	Documentação técnica escassa
159	São José do Rio Claro (MT) (Efeito cascata)	04/02/2018	g1.globo.com2018 - Internet	Documentação jornalística
160	São Tadeu I (MT)	11/11/2009	ANEEL2010 Kanji2015	Documentação técnica
161	Saracuruna (RJ)	1962	Ruiz&outros1976 Ruiz&outros1976bis Massad&outros1978 Mello,FM1985	Documentação técnica
162	Sinop (MT)	08/10/2015	g1-globo.com - Internet	Documentação jornalística
163	Tamboril (GO)	10/03/2017	RSB-ANA2017Pág.78 Oestegoiano2019-Internet	Documentação técnica escassa
164	Trairi (RN)	01/04/1981	DNOCS1982 Bezerra2015	Documentação técnica
165	Três Marias (MG)	Janeiro/1961	CBGB1982 Gonçalves&Bernardes1985 Batista&outros1982 Silveira1997 CBGB2002	Documentação técnica
166	Vigário (RJ)	Janeiro/1975	CBDB1986 AGEVAP2016	Documentação técnica

Tabela 1.8 - Quadro de acidentes e incidentes selecionados em barragens e obras anexas no Brasil (ordem alfabética)

A distribuição geográfica dos sítios de acidentes e incidentes pode ser visualizada na Figura 1.62, no capítulo 10 (página 175).



CAPÍTULO 5

Classificação de acidentes e incidentes

Acidentes em barragens resultam (frequentemente) da atuação simultânea de diferentes causas e agentes, podendo, às vezes, ser explicados por mais de uma maneira plausível. É comum que não se disponha de todas as informações necessárias para esclarecer os mecanismos que provocaram um determinado acidente ou incidente. Nos acidentes mais graves, os desastres, o trecho envolvido no evento pode ter sido totalmente removido ou fortemente danificado, dificultando a obtenção de evidências que permitam a realização de diagnóstico mais apurado. Assim, em muitos casos, é difícil determinar com segurança a natureza e a sequência de agentes e fatos que causaram o acidente.

Encontram-se na literatura diversas formas de qualificar (classificar) os acidentes em barragens. Devido à diversidade de elementos passíveis de ser empregados para a caracterização dos eventos, pode-se dizer que cada autor elabora uma sistemática pessoal de tipificação em função dos fatores mais importantes, priorizando uns em relação aos outros.

Uma primeira diferenciação, de caráter intuitivo, diz respeito à presença ou não de água no reservatório, o que distingue os casos ocorridos na fase construtiva daqueles verificados durante ou após o enchimento do reservatório - levando em conta o caso de rebaixamento rápido do nível d'água após enchimento. Na etapa construtiva, o acidente pode atingir a própria barragem, sua fundação ou estruturas associadas, como as ensecadeiras. Pode também afetar a integridade de componentes da obra, como taludes provisórios ou definitivos.

Na etapa de enchimento do reservatório ou na fase operacional, pode-se distinguir com clareza o acidente ocasionado por galgamento da estrutura, seja de terra, terra/enrocamento ou concreto, daquele em que o acidente acontece sem que haja galgamento. Caso não ocorra galgamento, o acidente poderá envolver o corpo da barragem e sua fundação, ou poderá atingir os demais componentes, como as interfaces entre estruturas de solo e concreto, além das estruturas anexas que integram o aproveitamento.

A sistemática utilizada neste texto para tipificação dos acidentes está apresentada na **Tabela 1.9**. O método de classificação aqui empregado não faz referência aos “mecanismos” envolvidos no desencadeamento dos acidentes. Apesar da referência aos mecanismos ser fundamental na avaliação dos acidentes e incidentes em barragens, optou-se por simplificar o sistema de classificação deixando a tarefa de referenciar os mecanismos à análise individual dos casos selecionados.

Assim, a tipificação de acidentes adotada prioriza a identificação do componente físico envolvido no evento, isto é, a área que foi atingida.

ETAPA		TIPO	COMPONENTE FÍSICO ATINGIDO
1	Etapa construtiva (sem água no reservatório)	1.1	Ensecadeiras
		1.2	Corpo da barragem em construção
		1.3	Escavações temporárias
2	Etapa de enchimento ou operação (com água no reservatório, incluindo o caso de rebaixamento rápido)	2.1	Crista da barragem (galgamento)
		2.2	Corpo da barragem
		2.3	Fundação da barragem e/ou ombreiras
		2.4	Interfaces e áreas de transição entre componentes da obra
		2.5	Obras anexas: Túnel de adução Conduto forçado Chaminé de equilíbrio Túnel ou canal de desvio Câmara de carga Canal de aproximação/adução Vertedouro de ombreira Calha do vertedouro Bacia de dissipação Casa de força Canal de fuga Dique auxiliar
		2.6	Reservatório
		2.7	Fossa de erosão (de amortecimento) Jusante da barragem (leito e margens do rio) Jusante de dique auxiliar (encosta)
3	Acidentes em cascata	Sucessão de eventos	

Tabela 1.9 – Sistemática de tipificação de acidentes em barragens e obras anexas com base na identificação do componente físico atingido pelo evento

A classificação apresentada na **Tabela 1.9** não prioriza as causas dos acidentes, mas os identifica em função do local de ocorrência, isto é, no setor da obra afetado. Esta classificação representa apenas o primeiro passo no caminho a ser percorrido para caracterização do acidente.

Todos os casos de acidentes e incidentes avaliados ao longo deste livro constam na segunda parte do texto, denominada Relatos. Trata-se de uma coletânea de casos identificados no Brasil com uma breve descrição de cada evento.

A identificação das causas dos acidentes e incidentes apresentados em Relatos é, na medida do possível, objeto de análise quando os mecanismos envolvidos no evento são caracterizados. Na análise de cada caso específico busca-se identificar as causas, os mecanismos (processos/modos de atuação) e os elementos atuantes (agentes).

O mecanismo de **percolação** passa pela identificação da trajetória da água. Além dos casos em que a água percola por dentro do aterro da barragem em interfaces (aterro/fundação, aterro/concreto) ou através das fundações, há situações em que a trajetória da água é complexa, passando sucessivamente por diversos meios. O mecanismo de percolação envolve também casos especiais em que se verificam perdas significativas de água do reservatório em pontos afastados da barragem, um processo que pode ocorrer em áreas de rochas solúveis, ou em divisores de águas pouco consistentes.

O mecanismo de **instabilidade** diz respeito aos acidentes em que as cargas atuantes superam os esforços resistentes. Em aterros, a instabilidade se manifesta (basicamente) na forma de deslizamentos, seja através do aterro ou do conjunto aterro/fundação. Em estruturas de concreto estão os casos de deslizamento, de tombamento e de subpressões excessivas, tanto os que afetam exclusivamente a estrutura, como os que atingem o conjunto estrutura/fundação. Este mesmo mecanismo se manifesta em encostas e cortes na forma de deslizamentos e de outros movimentos de massa que afetam as imediações da barragem, bem como as margens do reservatório e as margens do rio a jusante.

O mecanismo de **erosão** atua de duas formas básicas: a externa e a interna. A primeira se manifesta em três modos de atuação: a) a erosão da crista, que ocorre quando as águas passam por cima da barragem, seguida (geralmente) pela erosão do talude de jusante. Utiliza-se a denominação galgamento para esta modalidade de acidente que é grave e (frequentemente) desastrosa em barragens de terra, dependendo de sua intensidade e tempo de atuação; b) a erosão dos taludes, que pode ser causada por ondas no caso do talude de montante, ou pelas águas de chuva, no caso do talude de jusante; c) a erosão de estruturas e de suas fundações, em geral causada pelo impacto das águas que escoam através dos órgãos de descarga ou por correntes de retorno.

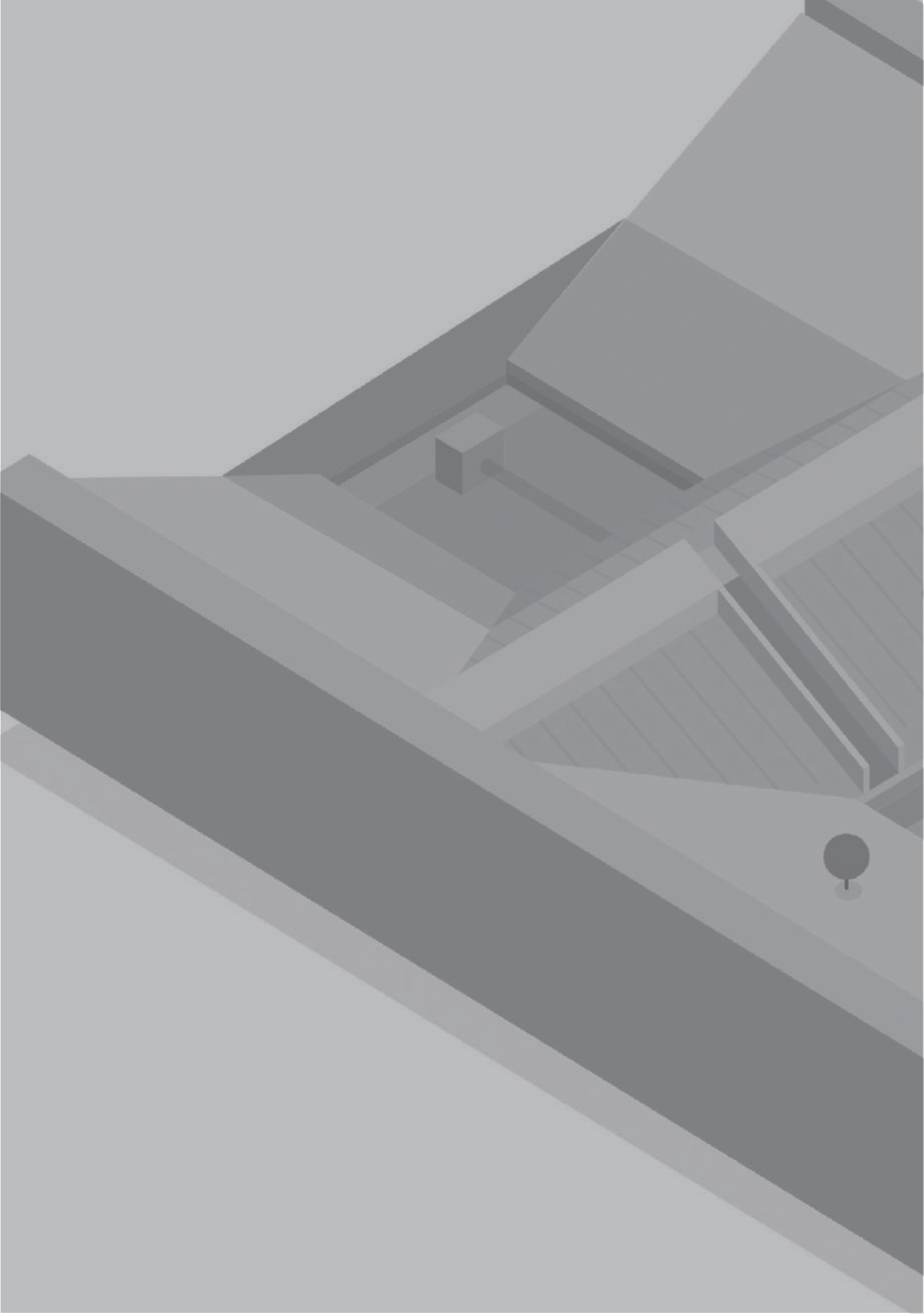
A forma interna de erosão que ocorre em aterros e fundações em solo, com caráter retrocedente, é denominada sifonamento ou entubamento e corresponde ao *piping* na língua inglesa. Esta forma de erosão está intimamente associada ao mecanismo anteriormente citado de percolação, de onde decorre.

A incidência de cada um dos agentes acima citados no conjunto de acidentes observados tem sido objeto de diferentes avaliações, conduzidas por Justin (1932), Middlebrooks (1953), Blind (1983) e Charles & Boden (1985), cujos resultados constam na **Tabela 1.10**.

Nesta tabela verifica-se que a percolação é responsável por 38% a 55% dos acidentes, enquanto os casos de galgamento ocupam o segundo lugar, respondendo por 24% a 42% dos acidentes. Percolação e galgamento somados respondem por 70% a 80% dos acidentes. Os dados de acidentes no Brasil, apresentados na **Tabela 1.7**, confirmam este aspecto, posto que 6 dentre 7 envolveram os mecanismos de percolação ou galgamento.

MODO DO ACIDENTE	JUSTIN (1932) 100 ACIDENTES	MIDDLEBROOKS (1953) 200 ACIDENTES	BLIND (1983) (1)	CHARLES & BODEN (1985) (2)
Percolação	48%	38%	39%	55%
Instabilidade	5%	15%	10%	14%
Erosão e outros	47% (galga- mentos: 39%)	47% (galga- mentos: 30%)	51% (galga- mentos: 42%)	31% (galga- mentos: 24%)
(1) Não foram considerados 42 acidentes de causa desconhecida				
(2) Foram considerados apenas acidentes com reservatório cheio				

Tabela 1.10 – Incidência de modos de acidentes documentados



CAPÍTULO 6

Sistematização de acidentes em barragens e obras anexas

6.1 *Acidentes na fase construtiva (sem água no reservatório)*

6.2 *Acidentes na etapa de enchimento ou de operação
(com água no reservatório)*

Dentro da proposta de sistematizar os acidentes e incidentes em barragens e em suas estruturas anexas com base na identificação dos componentes físicos atingidos, procura-se, a seguir, apresentar casos reais que documentem o conjunto de situações que constam na **Tabela 1.9**. Na medida do possível, cada caso é brevemente descrito e caracterizado. Informações mais detalhadas podem ser encontradas na segunda parte do livro, que contém os relatos.

Alguns acidentes e/ou incidentes ocorrem ou têm ocorrido de forma repetitiva, como nos eventos de assoreamento de reservatórios, erosão em bacias de dissipação, surgimento de trincas longitudinais e transversais em barragens de terra ou de terra/enrocamento, podendo-se citá-los às dezenas. Nesses casos, optou-se por restringir a documentação a apenas um ou dois exemplos representativos por razões de espaço.

6.1 Acidentes na fase construtiva (sem água no reservatório)

6.1.1 Em ensecadeiras (Tipo 1.1)

- **Ruptura por galgamento**

O acidente mais frequente em ensecadeiras consiste em galgamento, cujas causas podem ser atribuídas ao dimensionamento inadequado da estrutura, à adoção de descarga de período de recorrência inadequado ou à incidência de cheia excepcional no período construtivo. A inadequação na definição da cota da ensecadeira pode decorrer da insuficiência de registro hidrológico ou do nível de risco que o empreendedor está disposto a correr durante o período

de construção. Casos há, também, em que o cronograma de construção de determinada obra sofre atrasos, resultando no enfrentamento de períodos de chuvas em número superior à previsão inicial de projeto, sem que as obras de ensecamento tenham recebido o reforço necessário.

No caso da **Figura 1.13**, que retrata o galgamento da ensecadeira da barragem de Bandeira de Mello (BA), em 2005, a vazão afluyente pelo rio Paraguaçu no momento do acidente ultrapassou a previsão de desvio em mais de 60% (Facchinetti, 2008).



Figura 1.13 - Galgamento da ensecadeira da barragem de Bandeira de Mello (BA), em 2005, por excedência de vazão em relação à admitida no projeto (Facchinetti, 2008)

- **Ruptura por erosão interna ou de fundação**

Uma causa frequente de acidente em ensecadeiras está relacionada à ruptura por erosão interna ou por sua fundação. Por serem estruturas pioneiras (são as primeiras a avançar no leito do rio) e provisórias (de curta vida útil), suas condições de construção podem sofrer com a permanência no leito do rio de depósitos de materiais permeáveis e não coesivos (areias, cascalho, blocos, vegetação, etc.) compondo a fundação, sendo passíveis de arraste sob o efeito de gradientes hidráulicos elevados. O caso mais comum é a permanência de bolsões de areia e de cascalho que podem ser erodidos no esvaziamento do recinto ensecado, causando a perda de apoio do corpo da ensecadeira com consequente colapso.

Durante a construção da hidrelétrica Cachoeira Caldeirão (AP), a ensecadeira de segunda fase sofreu uma ruptura com consequente abertura de uma brecha (**Figura 1.14**).



Figura 1.14 – Vista da brecha na ensecadeira de segunda fase, margem esquerda do rio Araguari (Internet)

O empreendedor informou, em nota oficial, que devido à ocorrência de cheia do rio Araguari, realizou a abertura controlada na ensecadeira de segunda fase (margem esquerda) para permitir a passagem das águas do rio e garantir a segurança das estruturas e comunidades ribeirinhas. A ANEEL, de forma sumária, informou que a ensecadeira rompeu (ANA, 2015, pág. 121).

Na PCH Areia, localizada no rio Palmeiras (TO), a ruptura da ensecadeira foi causada pela erosão de um bolsão de areia e detritos que permaneceu na área de assentamento da mesma (**Figura 1.15**). A construção da ensecadeira havia sido interrompida pela saída do construtor da obra. Na retomada dos trabalhos não foi removido o referido bolsão de areia e detritos localizado no leito do rio na transição entre as duas etapas construtivas.



Figura 1.15 – Na PCH Areia o rompimento da ensecadeira ocorreu pela erosão de um bolsão de areia e detritos que havia permanecido na fundação (Foto dos autores, agosto de 2007)

6.1.2 Pelo corpo da barragem (Tipo 1.2)

Na etapa construtiva, mesmo na ausência de gradientes hidráulicos, tem se observado, com alguma frequência, deformações no corpo da barragem com aparecimento de trincas longitudinais e/ou transversais, resultando até mesmo em casos de ruptura. As causas podem ser as mais variadas, desde inadequações no processo construtivo de aterros de barragens, até a permanência de materiais de baixa resistência na fundação.

Um caso típico ocorreu na barragem do Açú, no rio Piranhas-Açu (RN), em 1982, documentado por diversos autores. A **Figura 1.16** ilustra o deslizamento do talude de montante da barragem ainda na fase de construção devido à presença de um espesso estrato de argilas de baixa resistência que permaneceu na fundação.

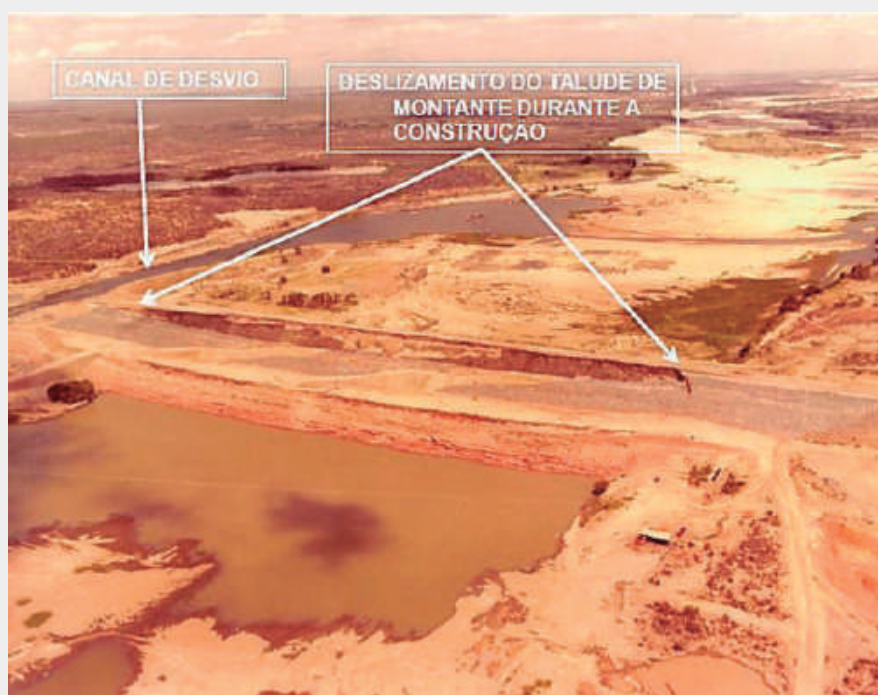


Figura 1.16 – Ruptura do paramento montante da barragem do Açú em 1982 (Sandroni, 1982)

6.1.3 Em escavações temporárias (Tipo 1.3)

Ainda na fase construtiva, escavações provisórias costumam ser feitas admitindo-se fatores de segurança relativamente inferiores àqueles adotados em taludes definitivos. Trata-se, mais uma vez, de uma decisão a respeito dos níveis de risco que o empreendedor está disposto a correr. Frequentemente, soma-se ao nível de risco propositadamente assumido um conhecimento escasso das características geológicas e/ou geotécnicas do meio físico em que a barragem está sendo erguida, o que agrega maior insegurança às condições de trabalho.

Um caso emblemático ocorreu durante a construção da hidrelétrica Itapebi, no rio Jequitinhonha (BA), documentado na **Figura 1.17**. A parede rochosa localizada à direita da hidráulica da escavação para o vertedouro desmoronou por deslizamento ao longo de uma camada de biotita-xisto/anfibolito intemperizado que mergulhava a jusante. Retroanálises do caso mostraram que os parâmetros de resistência ao longo da referida camada eram inferiores aos admitidos no projeto. A ocorrência é descrita em detalhe no item Relatos.

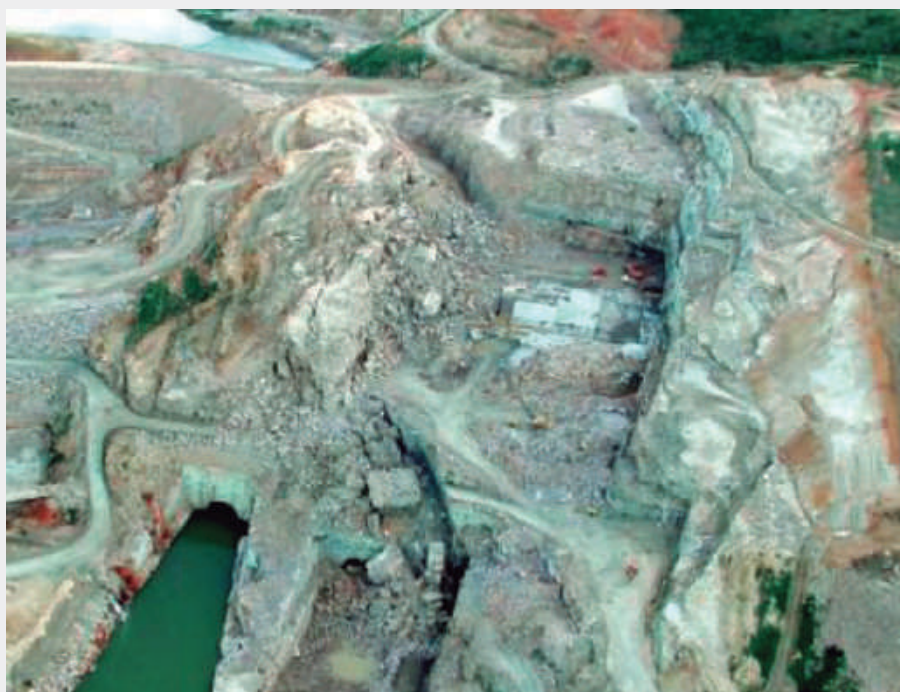


Figura 1.17 - Escorregamento no maciço rochoso sobreposto ao túnel de desvio no lado direito da escavação do vertedouro da UHE Itapebi (Nieble, 2008)

Outro caso emblemático ocorreu nas escavações da hidrelétrica Sinop, em construção no rio Teles Pires (MT). A parede direita das escavações da casa de força/canal de fuga desmoronou subitamente em outubro de 2015, no início da estação das chuvas. Apesar da rapidez do evento, sinais percebidos permitiram o afastamento de trabalhadores e equipamentos, limitando os danos (**Figura 1.18**). As grandes placas visíveis desmoronando correspondem à cobertura de concreto projetado provido de tela metálica que recobria toda a parede - e que deu maior visibilidade ao colapso.



Figura 1.18 – UHE Sinop: desmoronamento da parede de escavação direita da casa de força/canal de fuga (Internet, 2015)

6.2 Acidentes na etapa de enchimento ou de operação (com água no reservatório)

6.2.1 Por galgamento da crista (Tipo 2.1)

O galgamento da barragem, comumente em aterro, é estatisticamente uma das mais frequentes causas de acidentes nas estruturas. Em muitos casos, isso se deve ao relativo desconhecimento do regime hidrológico, cujo registro em áreas remotas do território nacional pode representar somente um curto período de observações fluviométricas diretas. Há ainda, por carência de observações fluviométricas, projetos que são baseados em cálculos de vazões extremas por modelos de chuva/deflúvio que são menos precisos. Soma-se a isso o eventual subdimensionamento da capacidade de vazão dos órgãos de descarga. Há exemplos de barragens antigas que, com base em observações de longos períodos, tiveram que aumentar a capacidade de seus descarregadores de cheias.

A barragem de Arneiroz II, situada no rio Jaguaribe (CE), foi galgada em 2004 (**Figura 1.19**) por ocasião de uma cheia de grande porte.



Figura 1.19 - Galgamento da barragem Arneiroz II, no rio Jaguaribe (CE), em 2004 (Menescal, 2007)

Na PCH Granada, situada no rio Matipó (MG), a remoção de grandes volumes de matacões e materiais finos da fundação da barragem na margem e na ombreira direita, seguida pela reconstituição estrutural da área por concreto de regularização, causou reflexos importantes no cronograma de construção, tendo atrasado o início do aterro da estrutura. Com a chegada da estação chuvosa, particularmente intensa, a cota de ensecamento não foi suficiente para conter o caudal. Ocorreu o galgamento, seguido pela ruptura do aterro em fase final de construção, e uma profunda erosão na ombreira direita (**Figura 1.20**).



Figura 1.20 – Galgamento e destruição da margem direita da PCH Granada no rio Matipó (MG) (Almeida, 2004)

Este tipo de acidente remete à discussão a respeito do tempo de recorrência da cheia a ser adotada em diferentes etapas de construção para definição da cota de coroamento da(s) ensecadeira(s). Afinal, um atraso no cronograma de construção pode fazer com que a obra tenha que enfrentar situações mais severas de vazão do rio do que as inicialmente admitidas, com consequências que podem ser desastrosas.

6.2.2 Pelo corpo da barragem (Tipo 2.2)

O corpo da barragem se presta à ocorrência de toda a gama de problemas motivados por deficiências de projeto e/ou construção. Frequentemente, a mera observação visual da barragem, principalmente no caso de estruturas de terra/enrocamento, induz à percepção de sintomas dos mais variados defeitos que podem ocorrer nessas estruturas. Assim, depressões ou saliências observadas ao longo da crista da barragem são sintomas de deficiências na construção de aterros ou refletem a presença de materiais de deformabilidade diferenciada na fundação. Da mesma forma, desalinhamentos ou embarrigamentos nos taludes remetem a deformações causadas (provavelmente) pela presença de materiais de menor resistência na fundação do aterro.

- **Trincas (fendas) longitudinais**

Um sintoma relativamente comum em barragens de terra/enrocamento é a presença de trincas (ou fendas, dependendo de sua dimensão) longitudinais e/ou transversais ao eixo da estrutura. Trincas longitudinais têm sido observadas em relevante número de casos. As causas são diversas. Em geral, elas refletem movimentações diferenciais entre componentes da seção transversal ou longitudinal da barragem (aterro > transição > enrocamento), ou revelam a presença de materiais mais deformáveis em diferentes áreas da fundação. Nos casos mais críticos, tais trincas podem alcançar grande extensão ao longo da crista ou nos taludes e sinalizar a evolução para situações extremas, podendo culminar em rupturas. Na maioria dos casos, entretanto, as deformações e recalques associados com as trincas se manifestam de forma contida e são passíveis de tratamento, por tamponamento, utilizando-se técnicas variadas.

A título de exemplo, a **Figura 1.21** documenta o caso da barragem da hidrelétrica de Emborcação (Divino, 2010). As primeiras trincas longitudinais foram constatadas ao longo da crista durante o enchimento do reservatório, quando o nível da água se encontrava cerca de 60 m abaixo do nível normal. Inicialmente, foi observada uma trinca em correspondência à zona de transição a jusante do núcleo, com cerca de 130 m de extensão, profundidade de 0,6 m e abertura da ordem de 7 mm. Uma semana mais tarde surgiram trincas longitudinais esparsas na zona do núcleo com comprimento não superior a 50 m e abertura máxima de 5 cm. As trincas foram recobertas com pavimentação asfáltica, mas reapareceram em seguida, em maior dimensão.



Figura 1.21 – UHE Emborcação: trinca longitudinal ao longo do paramento de montante (Divino, 2010)

Quando o reservatório se encontrava cerca de 20 m abaixo do nível máximo normal surgiram novas trincas. Desta vez, na zona de transição a montante do núcleo, atingindo até 700 m de extensão e abertura máxima de 25 cm. A abertura dessas trincas (fendas) ocorreu mais rapidamente do que as observadas anteriormente. A estabilização das mesmas se deu dois meses após o término do enchimento do reservatório, quando pararam de evoluir. O relato deste caso, apresentado na segunda parte do livro, traz mais informações sobre a interpretação da origem das trincas (fendas) e sobre o procedimento de obturação às mesmas.

- **Trincas (fendas) transversais**

Embora menos frequentes do que as longitudinais, trincas ou fendas transversais ao eixo representam anomalias de maior grau de risco em termos de segurança de barragens, pois constituem caminhos de percolação direta do reservatório para jusante. Via de regra, elas refletem a ocorrência de recalques diferenciais do aterro compactado em função de irregularidades na superfície de assentamento do próprio aterro, como desníveis acentuados em curtas distâncias horizontais. O grau de umidade com que o solo foi lançado também é considerado um fator importante porque aterros compactados em condições de escassez de água, do lado seco da curva de compactação, são mais sensíveis ao surgimento de trincas. Isso ocorre pela dificuldade do aterro em se adaptar à ocorrência de deslocamentos verticais diferenciais.

Para fins de exemplificação, registra-se o caso da barragem de Piau (PI), na qual trincas transversais em ambas as ombreiras surgiram alguns meses após a conclusão da obra, durante a fase de primeiro enchimento do reservatório (duas na ombreira esquerda e três na ombreira direita). O caso foi descrito por Miranda & outros, 2011. A **Figura 1.22** documenta a cava seguida por trincheira aberta na ombreira direita para interceptar as trincas e averiguar a continuidade das mesmas em profundidade. Cava e trincheira serviram como meio de recuperação da integridade da barragem, tendo sido preenchidas com aterro compactado, do lado úmido, com uso de bentonita.

Concluído o reaterro da trincheira, o trecho remanescente da trinca que aflorava no interior da cava de acesso, a montante da trincheira, foi injetado por gravidade com calda de bentonita-cimento.

- **Erosão interna ou entubamento (*piping*)**

Em barragens de terra, os acidentes que se manifestam devido ao fluxo d'água pelo corpo da estrutura decorrem, geralmente, do dimensionamento inadequado dos dispositivos de proteção contra arraste, erosão e remoção do aterro.



Figura 1.22 – Barragem de Piau (PI): trabalhos para correção de trincas transversais na ombreira direita (Miranda & outros, 2011)

Os critérios que regem o dimensionamento de filtros e transições surgiram, como foi referido em item anterior, a partir da década de 1940. Desde então, a Engenharia de Barragens passou a ser dotada de procedimentos seguros a este respeito. Entretanto, a aplicação destes princípios esbarra, às vezes, em dificuldades executivas pela ausência de uma ou outra fração granulométrica de material de transição. A inobservância dos princípios de filtragem pode resultar no desencadeamento de processos de erosão interna com formação de dutos que acabam comprometendo a integridade do maciço e podem conduzir à ruptura/colapso da barragem. Este mecanismo é também denominado entubamento ou sifonamento e corresponde ao *piping* da língua inglesa.

A este mecanismo foi atribuída a ruptura da barragem da Pampulha, em Belo Horizonte (MG), retratada na **Figura 1.23**, objeto de estudo aprofundado por Vargas & outros (1955), referido mais adiante, no item Relatos.



Figura 1.23 - Rompimento da barragem de Pampulha por entubamento (*piping*) (Vargas & outros, 1955)

- **Lixiviação de camada confinada de areia na base do vertedouro**

Acidentes que se manifestam em decorrência de problemas de percolação no corpo da barragem não são exclusivos de estruturas de terra, podendo afetar também estruturas de concreto. Em alguns casos, como na barragem de Santa Helena, no rio Jacuípe (BA), o projeto das estruturas do vertedouro, em particular de sua calha, previa a inserção de camada de areia basal como meio de favorecer a drenagem e evitar subpressões. Se devidamente protegida para todos os cenários, a camada de areia contribuiria para a eliminação de subpressões. A barragem sofreu colapso em maio de 1985 devido a um problema de erosão na base da estrutura do vertedouro em concreto (**Figura 1.24**). Apesar de a imagem mostrar o aterro rompido em primeiro plano, o acidente teve início na base da laje do vertedouro (no alto da imagem) em função da remoção, por erosão, de uma camada drenante de areia, propagando-se, em seguida, para as demais estruturas da barragem. A camada drenante não fazia parte da fundação, mas integrava o projeto do vertedouro. Este caso também é apresentado em detalhe no item Relatos.



Figura 1.24 - Rompimento da barragem de Santa Helena em andamento. O processo teve início na base da estrutura de concreto do vertedouro (Amorim, 2016)

- **Rompimento da laje de concreto em barragem de enrocamento (BEFC)**

Em barragens de enrocamento com face de concreto (construídas no Brasil nas décadas finais do século passado e início do atual com alturas cada vez mais arrojadas) foi constatada a ocorrência de trincas e fendas em algumas lajes de face de concreto. Essas lajes de face são constituídas por lajes delgadas com armaduras segundo o plano médio da laje. Famílias de trincas foram mapeadas por mergulhadores em lajes de diversas barragens, como por exemplo nas UHEs Itá e Itapebi, apesar de não terem configurado situação de acidente.

Um caso de gravidade elevada ocorreu em 2006, na barragem da UHE Campos Novos, no rio Canoas (SC). Com 202 m de altura máxima, a estrutura foi atingida por dois acidentes correlatos, sendo um na própria barragem de enrocamento com face de concreto e outro em um dos dois túneis de desvio. A face de concreto (**Figura 1.25**) evidenciou uma intensa e extensa rede de fissuras e trincas que foi sendo detectada ao longo da etapa de enchimento do reservatório. O esvaziamento do lago, em consequência de acidente ocorrido em um dos túneis de desvio, expôs com clareza a extensão dos danos. Entretanto, a integridade do maciço de enrocamento não foi afetada pelo fluxo d'água que se estabeleceu ao longo das trincas no concreto. A barragem foi recuperada.



Figura 1.25 – Vista da face de concreto da barragem da UHE Campos Novos (SC) após o esvaziamento rápido do reservatório (Xavier & Correa, 2008)

- **Vazamentos através do corpo de barragens de concreto**

Em barragens de concreto, eventuais defeitos construtivos podem ser colocados em evidência no enchimento do reservatório pelo aparecimento de surgências ao longo do paramento de jusante. Em casos críticos, tais surgências podem identificar condições de risco à segurança da barragem. Esta anomalia é colocada em evidência no caso de estruturas erguidas em concreto compactado a rolo (CCR), cujo paramento de jusante pode revelar a facilidade com que o fluxo d'água atravessa o corpo da barragem, dissolvendo e transportando componentes do concreto e depositando-os ao aflorar ao longo dos degraus. Este é o caso da barragem retratada na **Figura 1.26** (e que poderia, também, ser enquadrado no item de patologias do concreto, apresentado mais adiante).



Figura 1.26 – Surgências e deposição de constituintes lixiviados do concreto ao longo dos degraus do paramento jusante de barragem em CCR (Foto dos autores)

Maior gravidade ocorre quando as surgências no paramento de jusante de uma barragem de concreto se alinham ao longo de planos horizontais, indicando a provável coincidência com contatos entre camadas sucessivas de concretagem. A gravidade decorre da possível condição de instabilidade da “cunha” de barragem sobreposta à própria surgência. Este é o caso documentado pela **Figura 1.27**, que retrata a barragem da PCH Passo do Meio (RS) e as fortes surgências no corpo do vertedouro. Neste cenário, intervenções imediatas evitaram o risco de agravamento da situação (ver em Relatos). As causas do evento estavam sendo investigadas quando do encerramento deste texto.



Figura 1.27 – Fortes surgências com alinhamento horizontal no paramento de jusante da barragem da PCH Passo do Meio (CREA-RS, 2020)

- **Por patologias do concreto**

- **Reação álcali-agregado (RAA)**

Em grandes estruturas de concreto massa, a reação álcali-agregado (RAA) tem se manifestado de forma intensa em diversas circunstâncias a ponto de requerer intervenções, em alguns casos severas, para não comprometer a integridade e segurança da barragem. Em determinadas circunstâncias, a reação entre os compostos de sílica e carbonato presentes em certos agregados e os hidróxidos alcalinos derivados da hidratação do cimento conduz à formação de um gel que absorve água e expande, provocando o aumento de pressões intergranulares, causando fissuração do concreto e, eventualmente, até deformações estruturais relevantes. Este é o caso da barragem de Peti (MG), no rio Santa Bárbara, documentado na **Figura 1.28**. A estrutura construída na década de 40 começou a apresentar sintomas de RAA em meados da década de 60, tendo exigido, desde então, toda a atenção para o enfrentamento do problema (ver relato sobre a barragem de Peti).

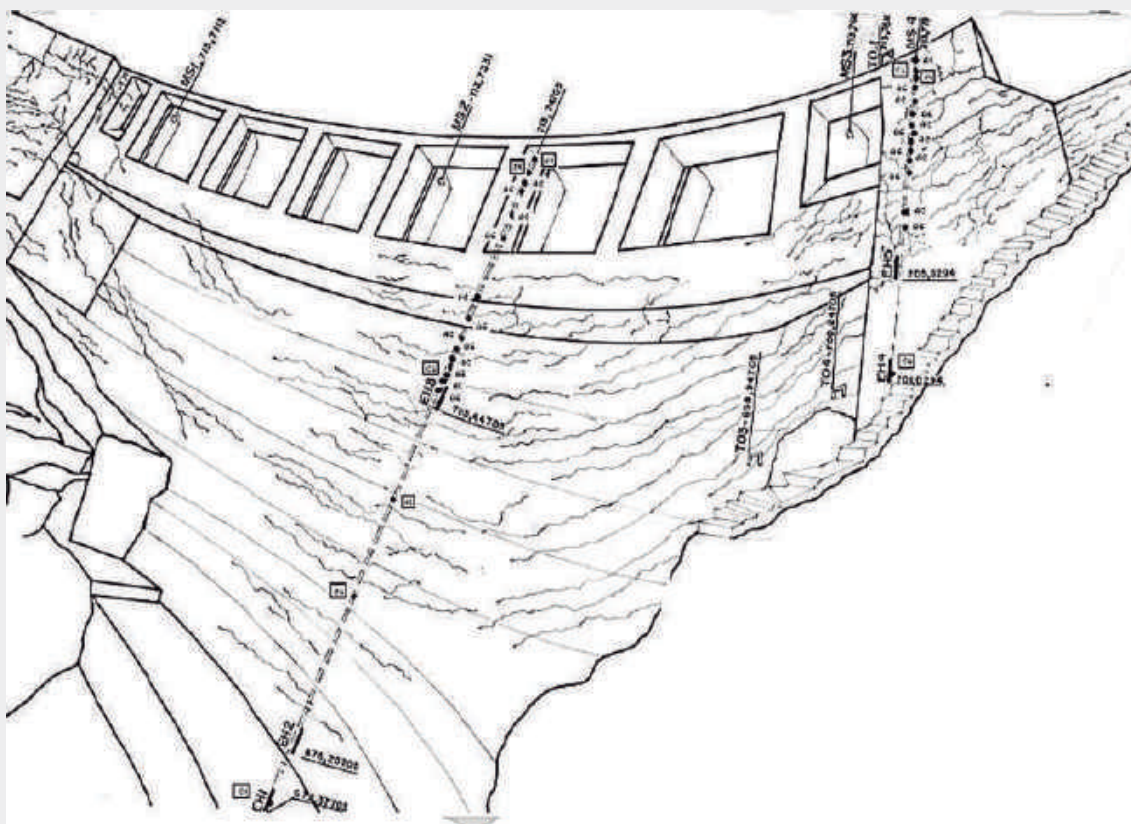


Figura 1.28 – Barragem de Peti (MG): croquis de fissuras identificadas na face jusante e instrumentação, mapeadas em setembro de 1997 (Balbi, 2008)

O processo de RAA tem se manifestado em outras barragens e/ou estruturas associadas, como na casa de força de Moxotó, no rio São Francisco. Neste caso, os reflexos da RAA foram importantes a ponto de afetar a rotação das turbinas pela expansão do concreto no interior da caixa espiral (Silveira & outros, 1985).

- Trincas e fissuras

Em qualquer estrutura de concreto, pequenas mudanças na distribuição das cargas, em relação às previstas, podem causar o surgimento de fissuras e trincas que prejudicam o aspecto estético e podem acarretar o encurtamento da vida útil da estrutura. Em barragens, este aspecto é agravado pelo possível comprometimento da estanqueidade da estrutura.

A incidência de trincas e fissuras em barragens, como não podia deixar de ser, é antes regra do que exceção e resulta de “ajustes” que a estrutura sofre no processo de adaptação das previsões de projeto em comparação com as condições reais do protótipo. Pequenas alterações não anteriormente previstas nas características de deformabilidade do terreno da fundação, por exemplo, podem resultar em recalques diferenciais que induzem ao aparecimento de trincas e fissuras. Da mesma forma, o esforço dinâmico da água interagindo com a estrutura da barragem pode causar deformações e movimentações, às vezes irreversíveis. Há, ainda, que se considerar a influência das oscilações térmicas diárias e sazonais. Elas também induzem deformações e movimentações de caráter cíclico em estruturas delgadas de concreto, como barragens em abóbada. Tal situação pode ser encontrada na barragem de arco de dupla curvatura do Funil, no rio Paraíba do Sul, em Itatiaia (RJ). Nas juntas de dilatação perto das duas ombreiras artificiais foram instalados macacos planos que podem ser acionados no caso dessas deformações virem a ser consideradas excessivas.

A relação de barragens e estruturas anexas afetadas pela presença de trincas e fissuras é por demais extensa para ser aqui apresentada. Remete-se à compilação elaborada por Zuch (2008) ao tratar de manifestações patológicas em barragens de concreto.

6.2.3 Pela fundação da barragem e/ou ombreiras (Tipo 2.3)

Acidentes em barragens de terra ou de concreto que envolvam a fundação e/ou as ombreiras constituem os casos (geralmente) mais problemáticos no quesito identificação das causas, pois envolvem o domínio da geologia, com toda a complexidade estrutural que lhe é peculiar.

A fundação das barragens é, em geral, constituída por um meio anisotrópico, heterogêneo e descontínuo em que cada detalhe pode ter relevância nas condições de segurança da estrutura a ser implantada. A identificação dos principais elementos geológicos estruturais de um maciço de apoio de barragem e sua correta caracterização geotécnica/geomecânica são fundamentais para a elaboração de projetos com níveis de risco aceitáveis.

O histórico de acidentes em barragens no Brasil apresenta alguns casos em que o diagnóstico geológico equivocado resultou na perda da barragem, com pesadas consequências para as populações ribeirinhas. Dois casos são brevemente mencionados a seguir, ambos expostos em detalhe no item Relatos. A barragem de Camará, no córrego Riachão (PB), rompeu em 2004 em consequência da não identificação correta de uma estrutura geológica da ombreira esquerda. Nesta ombreira, uma laje de rocha sã encobria uma faixa de material intemperizado de baixa resistência que não havia sido identificada em projeto. Durante o enchimento do reservatório, o material granular de preenchimento da referida faixa foi lixiviado e removido através da drenagem de fundação na ombreira, resultando no colapso do apoio da barragem com consequente desmoronamento da estrutura de concreto superposta.

O rompimento aconteceu em duas etapas, defasadas por alguns dias. Na primeira etapa ocorreu a formação de uma brecha de grandes proporções (**Figura 1.29**), deixando parte da estrutura de concreto suspensa em arco, seguida pelo colapso do arco e de toda a parte esquerda da barragem.



Figura 1.29 - A brecha na ombreira esquerda da barragem de Camará (PB) antes do colapso do arco (Silva & outros, 2004)

Em janeiro de 2008, a barragem de Apertadinho, no rio Comemoração (RO), colapsou em função da elevada erodibilidade dos materiais de fundação de todas as estruturas (inclusive das estruturas de concreto), equivocadamente denominados de “arenitos”, quando na verdade eram “areias” remanescentes da desintegração dos arenitos locais. Embora o material *in situ* tivesse capacidade de suporte de carga suficiente para servir de apoio às estruturas do vertedouro e da tomada d’água do canal de adução, não possuía resistência à erosão interna (*piping*). Durante a construção, com o objetivo de facilitar os trabalhos de concretagem da laje do vertedouro, foram colocados na superfície da fundação blocos de pedra de grandes dimensões que não atendiam aos critérios de filtragem das areias da fundação. O processo de rompimento ocorreu na etapa final de enchimento do reservatório e teve início na interface da estrutura de concreto da calha do vertedouro com o material de fundação. A **Figura 1.30** retrata um momento final da construção da calha do vertedouro apoiado sobre a fundação em solo e parcialmente apoiado sobre os blocos de pedra acima mencionados. O caso é tratado em detalhe no item Relatos.



Figura 1.30 - Estrutura da calha do vertedouro ao final da concretagem sobre fundação em solo residual de arenitos (Nieble & outros, 2008)

6.2.4 Em áreas de transição entre componentes da obra (Tipo 2.4)

- **Em interfaces aterro/concreto**

Uma das áreas críticas de maior vulnerabilidade perante a atuação da percolação é representada pela interface entre componentes diversos, colocados lado a lado. Uma interface entre solo e concreto está sujeita ao comportamento diferenciado entre esses componentes quando submetidos à saturação do aterro e ao carregamento hidrostático da estrutura de concreto e do próprio aterro. Os encontros entre aterros e estruturas de concreto têm ocasionado diversos problemas, alguns com graves consequências.

Tal é o caso do rompimento da barragem de Algodões I, no rio Piranji (PI), em maio de 2009. O encontro do aterro da barragem em solo com um muro de concreto ocorreu em talude negativo, isto é, com o solo sendo compactado sob o muro inclinado. Os recalques pós-construtivos no aterro causaram seu descolamento do muro, ocasionando a abertura de um vão orientado no sentido montante-jusante por onde a água passou a escoar quando ocorreu a subida do nível do reservatório, em seu primeiro enchimento completo. Isso causou forte erosão do aterro, o que culminou com o descalçamento e consequente colapso do muro de concreto, seguido pelo colapso da estrutura do vertedouro e perda do barramento.

A barragem ficou intacta durante os primeiros oito anos após a construção porque o reservatório permaneceu em nível baixo devido à persistência de prolongada estiagem. A intensa estação de chuvas de 2009 elevou o reservatório para um nível em que o vertedouro de soleira livre chegou a ser galgado pela primeira vez.

A **Figura 1.31** ilustra um momento no processo de rompimento do muro de apoio do aterro. No item Relatos são apresentados detalhes sobre o histórico de construção e rompimento do barramento.



Figura 1.31 - Em 12 de maio de 2009, o muro de concreto que servia de apoio para o aterro da barragem começou a ceder e a primeira placa, do lado jusante, perdeu a sustentação e destacou-se. Seguiu-se a isso o colapso do restante do muro e do vertedouro, visível à esquerda (Internet)

6.2.5 Em obras anexas (Tipo 2.5)

Apesar de nos referirmos comumente à barragem para identificar determinado empreendimento, esta representa apenas uma parcela da obra. A construção pode compreender numerosos apêndices e estruturas anexas que também ficam expostos a níveis variáveis de risco. A seguir apresenta-se uma rápida resenha de casos de acidentes em obras anexas com o propósito de exemplificar a diversidade de circunstâncias passíveis de ocorrer.

- **Em canais de adução**

Embora o acidente esteja pobremente documentado, o extenso canal de adução da hidrelétrica Joasal, no rio Paraibuna, a jusante de Juiz de Fora (MG), foi atingido por uma volumosa massa de solo e detritos que se destacou da parede de escavação direita, interrompendo o fluxo (**Figura 1.32**). Trata-se de um canal com extensão de 1,7 km construído a meia encosta na década de 40. Ainda hoje, acidentes deste tipo são de difícil previsibilidade porque afetam obras lineares em condições de acesso e observação difíceis.



Figura 1.32 – UHE Joasal (MG): escorregamento em corte aberto para implantação do canal de adução da usina (Oliveira, 2008)

- **Em câmaras de carga**

Em barragens com produção de energia elétrica, é frequente o uso de canais de adução para conduzir as águas para uma câmara de carga onde se iniciam túneis de pressão ou condutos forçados constituídos por tubulações de aço.

Em câmaras de carga formadas com uso de aterros, a interface entre o solo e o concreto do muro da tomada d'água tem representado um local de vulnerabilidade em empreendimentos hidrelétricos, como no caso da PCH Bocaiúva, no rio Cravari (MT), documentado na **Figura 1.33**. Neste caso, mesmo a implantação de manta PEAD com a finalidade de vedação não foi suficiente para evitar o desencadeamento do acidente.



Figura 1.33 – PCH Bocaiúva, no rio Cravari (MT): colapso do aterro no encontro com a tomada d'água na câmara de carga da usina (Internet)

Este tipo de acidente ocorreu em outros casos. Na PCH Inxu, no rio do Sangue (MT), um acidente similar foi desencadeado ao final do enchimento do reservatório, em junho de 2015. A própria estrutura da tomada d'água perdeu o apoio, adernando (**Figura 1.34**). As causas do acidente ainda estavam em processo de discussão no fechamento do presente texto.



Figura 1.34 – PCH Inxu: adernamento da estrutura da tomada d'água na câmara de carga da usina, no rio do Sangue, em junho de 2015 (ANA, 2015)

- **Em condutos forçados**

Condutos forçados podem estar sujeitos a situações extremas representadas pelo súbito aumento de pressão interna em decorrência de paralisação brusca do fluxo d'água pelos mais diversos motivos operacionais ou casuais. Nessas condições, instala-se o golpe de ariete - que todo sistema hidráulico deve estar preparado para suportar. Em condutos forçados associados com barragens, o alívio parcial das pressões decorrentes do golpe de ariete é, geralmente, suprido por chaminés de equilíbrio devidamente dimensionadas para atender tal condição crítica de pressão.

A **Figura 1.35** documenta o momento do rompimento de um conduto forçado instalado a jusante da barragem de Jati (CE), que faz parte do Projeto de Integração do rio São Francisco. No fechamento do presente texto, as causas do acidente não haviam sido divulgadas.



Figura 1.35 – Rompimento do conduto forçado de baixa pressão na barragem de Jati (CE) (Internet)

- **Em túneis de adução**

Túneis de adução são estruturas complexas, sujeitas a grande diversidade de solicitações internas e externas, seja por força das cargas de água impostas pelos requisitos de projeto, seja por condições geológicas adversas que podem exigir a adoção de formas variadas de revestimento. O histórico de construção e operação de túneis pressurizados no Brasil contempla diversos casos de acidentes, dos quais os mais críticos ocorreram durante a operação de pressurização ou logo após a entrada em operação. Em sua maioria, esses casos não têm sido divulgados e permanecem confinados ao âmbito dos foros onde se travam as disputas em controvérsias entre as partes interessadas.

O acidente no túnel de adução da Central Hidrelétrica de Macabu, no rio Macabu (RJ), ocorrido no começo da década de 1960, ganhou as páginas dos jornais regionais da época. Isso porque a referida usina abastecia de energia a região Leste do Estado do Rio de Janeiro e o acidente privou o fornecimento enquanto durou o trabalho de recuperação. Trata-se de um caso de ruptura ocorrido pouco após a finalização da obra, em um trecho do túnel de baixa pressão (**Figura 1.36**).



Figura 1.36 – Central Hidrelétrica Macabu: 1) chaminé de equilíbrio; 2) condutos forçados; 3) casa de força; 4) local da ruptura do túnel de adução; 5) trajetória aproximada da corrida de detritos (Google Earth, de 02/08/2017, modificada)

Após o rompimento da seção do túnel de adução em trecho de baixa pressão próximo da chaminé de equilíbrio, uma corrida de detritos (lama, misturada com blocos de rocha e vegetação) percorreu a trajetória indicada de forma aproximada na imagem, em desnível superior a 200 m, e alcançou a casa de força - danificando os equipamentos de geração. Este caso é descrito no item Relatos.

Um dos raros casos divulgados diz respeito ao túnel do sistema de adução da UHE Sá Carvalho (MG) que registrou forte vazamento na tubulação de alta pressão poucos meses após a entrada em carga, seguido por deslizamento do manto intemperizado da encosta externa local (**Figura 1.37**).

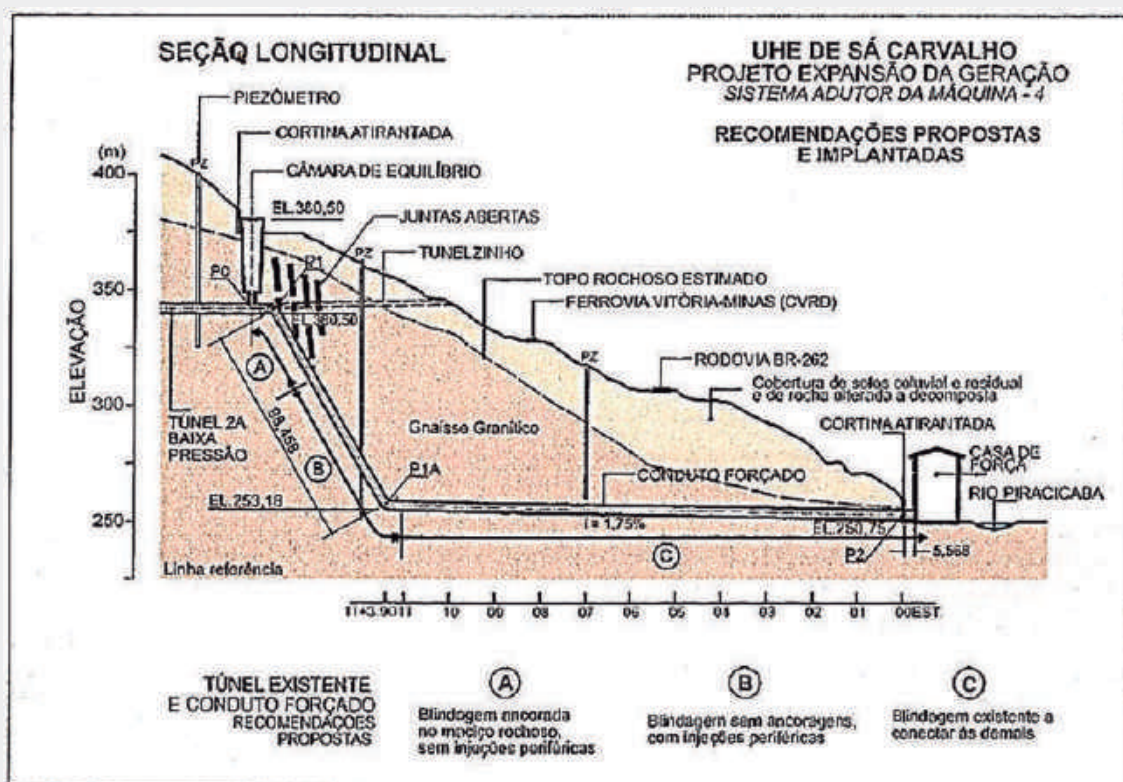


Figura 1.37 – UHE Sá Carvalho (MG): seção ao longo do sistema de adução que sofreu vazamentos no túnel de alta pressão (Coppedê & outros, in Santos, 2009)

Outros casos de acidentes ocorridos em túneis de adução na etapa operacional da usina têm permanecido sem divulgação. Trata-se de eventos de considerável relevância técnica que muito contribuiriam para a divulgação de situações críticas passíveis de ocorrer em outras circunstâncias, em novos empreendimentos. Sua não divulgação contribui para que acidentes, que poderiam ser evitados por antecipação, possam voltar a ocorrer.

- **Em túneis de desvio**

Túneis de desvio representam obras chamadas “provisórias” porque sua vida útil costuma estar restrita à etapa construtiva, deixando de funcionar, na grande maioria, após o término da construção. Nessas condições, os requisitos de segurança são menos severos do que em obras “definitivas”, quando a noção de durabilidade ultrapassa os 50 anos.

Um caso incomum é descrito de forma detalhada na literatura técnica nacional e diz respeito à construção da UHE Furnas, no Rio Grande (MG), uma das primeiras grandes obras hidrelétricas do País - iniciada ao final dos anos 50, foi uma das maiores do mundo. Na fase final de construção, quando se implantavam os tampões de concreto nos dois túneis de desvio, ocorreram explosões em seu interior, causadas por acúmulo de metano. Consequências de maior gravidade poderiam ter ocorrido caso os túneis não tivessem sido devidamente plugados em obra exemplarmente conduzida em regime de urgência. Sem atrasos no cronograma, entrou em operação como programado (**Figura 1.38**). O caso é descrito em Relatos.

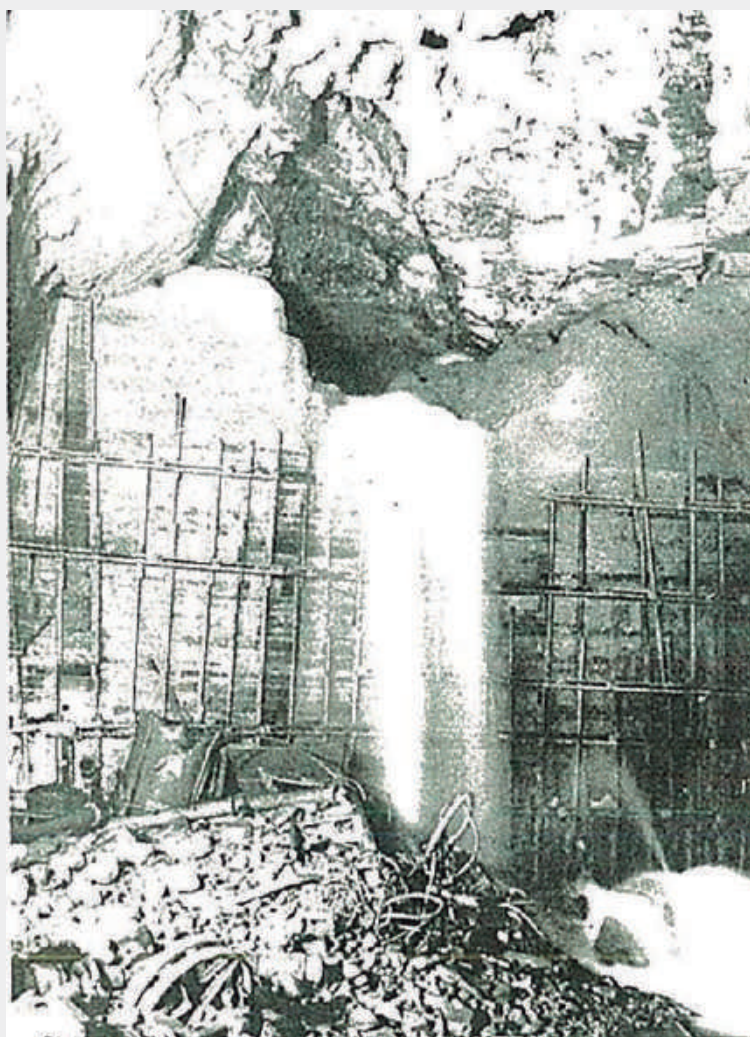


Figura 1.38 – UHE Furnas (MG): o plugue original do túnel de desvio esquerdo visto a partir de jusante (Lyra, 1967)

Um segundo caso que ilustra a ocorrência de acidentes em obras de desvio é o da hidrelétrica Campos Novos, no rio Pelotas (RS). Na fase final de enchimento do reservatório, em junho de 2006, quando o nível d'água correspondia a 93% do carregamento máximo sobre as comportas dos túneis de desvio, previsto para cerca de 200 m de coluna d'água, ocorreu falta de vedação do portal montante do túnel de desvio direito, estabelecendo-se um caudal com a impressionante velocidade de escoamento de 54 m/s. Apesar das tentativas não foi possível evitar o colapso. A vazão de 3.900 m³/s resultou no esvaziamento total do reservatório em cerca de 60 horas. Durante o período de esvaziamento, foi observado um redemoinho (vórtice) na superfície da água em correspondência ao local dos túneis de desvio (**Figura 1.39**).



Figura 1.39 – UHE Campos Novos (RS): o redemoinho (vórtice) na superfície da água sinaliza o avanço do processo de esvaziamento do reservatório após rompimento no túnel de desvio n° 2 (Xavier, 2009)

O súbito esvaziamento do reservatório em decorrência do acidente no portal de um dos túneis de desvio tornou possível observar a extensão dos danos sofridos pela laje de face da barragem de enrocamento com face de concreto, facilitando a realização dos reparos necessários. A barragem foi novamente colocada em carga cerca de um ano após o acidente.

Tanto o acidente com o túnel de desvio, quanto aquele ocorrido com a laje da face de concreto da barragem no mesmo empreendimento induzem reflexão sobre os riscos crescentes que, inevitavelmente, surgem ao se lidar com obras e estruturas progressivamente maiores e mais altas, em que as pressões, carregamentos e gradientes induzidos por colunas de água da ordem de duas centenas de metros de altura situam tais obras nos limites do “já executado” (*state-of-the-art*), adentrando no campo do “ainda não experimentado”.

6.2.6 Em casas de força

Casos de acidentes em barragens, com alguma frequência, afetam o edifício da casa de força. Ele é atingido pela onda de cheia que sucede o rompimento da estrutura da barragem. Em alguns casos, entretanto, os danos são por outros fatores externos ao empreendimento, como chuvas torrenciais ou súbitos e inesperados acidentes com equipamentos mecânicos capazes de causar a inundação do recinto.

Para fins de documentação, são apresentados a seguir cinco casos de acidente em casas de força com motivações diversas.

- **Inundação como reflexo do rompimento da barragem**

No caso do colapso da barragem de Apertadinho, no rio Comemoração (RO), já referido em item anterior, a casa de força, distante diversos quilômetros a jusante de ampla alça do rio, foi atingida pela onda de cheia artificialmente originada pelo colapso da estrutura, tendo sido assoreada e fortemente danificada (**Figura 1.40**).

Fato semelhante ocorreu na casa de força da UHE Espora (GO), após o rompimento da barragem.



Figura 1.40 – A casa de força da PCH Apertadinho foi seriamente danificada pela onda de cheia que se propagou para jusante após o colapso da barragem (Foto de Paulo Levis)

- **Inundação decorrente de fatores meteorológicos**

Em 22 e 23 de janeiro de 1967, a região da casa de força da hidrelétrica Nilo Peçanha (RJ) foi atingida por uma corrida de lama e detritos desencadeada pelo episódio de chuvas intensas que se abateu de forma concentrada sobre as encostas da Serra das Araras. As encostas circundantes do sítio da casa de força sofreram um processo de “desmonte hidráulico” da camada superficial de solo natural com o desencadeamento de escorregamentos generalizados. O túnel de fuga da usina de Nilo Peçanha foi entupido pelos detritos e a casa de força subterrânea foi invadida pelo refluxo das próprias águas aduzidas à usina e, posteriormente, pela lama situada a jusante. A **Figura 1.41** mostra uma imagem da situação local, logo após o desastre.



Figura 1.41 – Complexo da Light no pé da Serra das Araras: as estruturas das UHEs Nilo Peçanha e Fontes (o edifício branco do lado esquerdo) foram atingidas por escorregamentos e corridas de lama e detritos (Jones, 1973)

- **Inundação por problemas em equipamentos mecânicos**

Em usinas hidrelétricas, a inundação do recinto de casas de força em decorrência de vazamentos por defeitos ou quebra de equipamentos mecânicos não constitui uma ocorrência rara, tendo sido registrada em diversos casos. Dentre eles, faz-se aqui referência à PCH Verde 4, no rio Verde, município de Água Clara (MS). Durante o enchimento do reservatório, em agosto de 2017, foi constatado um forte vazamento para dentro da casa de força pela tubulação da unidade geradora 02 devido aos problemas de vedação da comporta vagão da tomada d'água. Apesar de todas as tentativas, ocorreu a completa inundação da casa de força através do conduto forçado (**Figura 1.42**).



Figura 1.42 – PCH Verde 4, no rio Verde (MS): um forte vazamento devido aos problemas de vedação da comporta vagão da tomada d'água causou a inundação da casa de força (Internet)

- **Inundação por problema de operação de equipamentos**

A casa de força da PCH Machado Mineiro, da CEMIG, que não havia sido projetada para a incidência de cheia extrema, foi invadida por jusante pelas águas liberadas pelos operadores da usina ao testarem a abertura total das comportas do vertedouro projetado para a cheia milenar.

- **Em chaminés de equilíbrio**

Chaminés de equilíbrio podem se constituir em fonte de problemas, principalmente quando sua estrutura é metálica e antiga, mais vulnerável à deterioração pela atuação dos agentes atmosféricos. Na usina de Fontes Velha (RJ), da Light, em março de 2004, ocorreu o rompimento súbito da chaminé de equilíbrio formada por tubulações metálicas apoiadas sobre a encosta, a montante da chamada casa de válvulas (**Figura 1.43**). Ao romper a tubulação, o jato de água passou a incidir sobre a



Figura 1.43 – Central Hidrelétrica de Fontes (Light/RJ): a chaminé de equilíbrio metálica, apoiada sobre a encosta, rompeu e causou o desmonte hidráulico de um trecho da encosta, seguido por uma corrida de detritos (Silva & outros, 2005)

encosta, ocasionando o desmonte hidráulico da cobertura de solo e rocha, seguido por uma corrida de detritos rumo ao fundo do vale. O acidente somente foi percebido após algumas horas, tempo suficiente para que o caudal d'água oriundo da ruptura, descendo a encosta íngreme, causasse severos danos às vias de acesso e à própria encosta, com a formação de uma profunda ravina.

6.2.7 No reservatório (Tipo 2.6)

Diversos tipos de acidente podem ocorrer em reservatórios de barragens. Dentre eles, os mais comuns são os escorregamentos ou deslizamentos ao longo das encostas e o assoreamento em maior ou menor escala do reservatório, podendo chegar ao comprometimento da capacidade de regularização de descargas e das fugas d'água para bacias adjacentes (através de divisores pouco consistentes ou com rochas solúveis). A seguir são apresentados casos típicos ocorridos no interior da área de reservatórios.

- **Instabilização de encostas**

Um clássico exemplo de instabilização das encostas é dado pelo caso do Morro dos Cabritos, à margem esquerda do reservatório da UHE Furnas, próximo da barragem (**Figura 1.44**). Desde a época de construção da estrutura foi observado que as encostas do córrego dos Cabritos vinham apresentando intensa erosão de suas rochas quartzíticas, formando grandes blocos isolados. Em 1985, uma volumosa massa de rocha que foi denominada monólito, com altura superior a 80 m, ameaçava despencar por tombamento, podendo gerar uma onda no reservatório que atingiria a barragem. Foram realizados ensaios em modelo hidráulico reduzido, alcançando condições extremas à formação de uma onda de 30 m de altura incidindo na barragem de enrocamento.



Figura 1.44 – A encosta instável do Morro dos Cabritos, no reservatório da UHE Furnas, ameaçava despencar (podendo gerar uma onda no reservatório, o quê atingiria a barragem) (ABGE, 2017, Furnas)

Anteriormente, em 12 de janeiro de 1969, o tombamento de um bloco de grandes dimensões se destacou da encosta do Morro dos Cabritos e provocou o surgimento de uma onda de altura considerável no reservatório. A onda avançou em direção ao barramento, atingindo-o e danificando levemente os equipamentos de navegação ancorados na crista da barragem de Furnas (Szpilman & Ren 1975).

Em 1985, a solução para neutralizar a ameaça de instabilidade na encosta consistiu na remoção e retaludamento, por meios mecânicos, com o lançamento do material removido encosta a baixo, o que foi realizado com sucesso.

- **Assoreamento progressivo**

Com frequência, principalmente em reservatórios de pequenas dimensões, o aporte de sedimentos é intenso a ponto de comprometer a vida útil do empreendimento. Isso ocorre em decorrência de diversos fatores, dentre os quais a natureza do subsolo e o desmatamento na bacia. Órgãos de descarga de fundo, que em estruturas e reservatórios pequenos poderiam minorar os efeitos nocivos do assoreamento, são (geralmente) pouco eficientes em estruturas maiores.

No que se refere à natureza do subsolo, reservatórios de barragens localizadas em áreas de rochas sedimentares brandas são mais vulneráveis ao processo de acumulação de sedimentos pela facilidade com que os componentes destas rochas podem ser erodidos e transportados, acumulando-se nas imediações das estruturas hidráulicas de tomadas d'água e impondo a adoção de procedimentos de retirada periódica dos materiais, com reflexos na rentabilidade dos empreendimentos afetados.

O desmatamento e as atividades de mineradoras têm sido grandes geradores de assoreamento de reservatórios. A remoção da cobertura vegetal desencadeia e acelera o ciclo de erosão, transporte e deposição de sedimentos, prejudicando as condições de navegação, afetando os sistemas de tomadas d'água e provocando desgaste prematuro de equipamentos mecânicos, encurtando a vida útil dos mesmos.

Para fins de documentação, apresentam-se três casos emblemáticos. O reservatório da PCH Casca III, no rio Casca (MT), em operação desde 1970, implantado em área de ocorrência de rochas sedimentares brandas, sofreu o aporte intenso e progressivo de materiais que se acumularam em grande parte junto ao barramento, a ponto de atingir a soleira de acesso à tomada d'água, exigindo a adoção de medidas de remoção dos sedimentos (**Figura 1.45**).



Figura 1.45 – No reservatório da PCH Casca III, no rio Casca (MT), o assoreamento alcançou a soleira da tomada d'água, exigindo a adoção de medidas próprias para a retirada dos sedimentos (Foto dos autores)

Já o caso da UHE Itiquira, no rio homônimo, exhibe as consequências de um intenso processo de assoreamento decorrente de desmatamento regional que preencheu totalmente o reservatório no hiato de 10 anos, aproximadamente (**Figura 1.46**).

O reservatório de Vigário, formado pela barragem Terzaghi, em Pirai (RJ), implantada em 1953, embora esteja em pequeno rio praticamente desprovido de transporte sólido natural, encontra-se totalmente assoreado. Os sedimentos provêm de materiais em suspensão recalçados com as vazões dos rios Pirai e Paraíba do Sul. As águas destinam-se às usinas de Fontes Nova e Nilo Peçanha. O reservatório de Vigário se tornou, assim, um alçapão sedimentológico de descargas bombeadas.



Figura 1.46 – Assoreamento no reservatório da UHE Itiquira I (Google Earth, de 22/07/2017)

- **Assoreamento instantâneo**

Entende-se por assoreamento instantâneo o processo de acumulação súbita de sedimentos em um reservatório de barragem devido ao aporte de material em decorrência do rompimento de outra barragem localizada a montante. Embora pouco comum, este processo já foi constatado no Brasil.

Em novembro de 2015, o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão da Samarco, em Mariana (MG), liberou um volume gigantesco de lama estimado em 10 milhões de m³ que, arrastado pelo fluxo d'água do rio Doce, alcançou o reservatório da barragem da UHE Risoleta Neves (antiga Candonga), entulhando-o rapidamente (**Figura 1.47**). A barragem de concreto-gravidade, apesar de dimensionada para esforços induzidos por água, passou a ser subitamente submetida a empuxos oriundos de uma massa de rejeitos de mineração de ferro de densidade muito superior, tendo sido capaz de resistir a tais esforços.



Figura 1.47 – Imagem da barragem da UHE Risoleta Neves (antiga Candonga) mostrando os depósitos de lama acumulados em curto espaço de tempo após o rompimento da barragem do Fundão (MG) (Google Earth, de 01/08/2016)

O caso do acidente sofrido pela barragem da UHE Candonga suscita, inevitavelmente, a discussão sobre quais critérios de projeto adotar. Barragens que se destinam à geração de energia elétrica ou ao armazenamento de água para fins diversos sempre foram concebidas como estruturas capazes de resistir ao empuxo exercido pela água - associada a sedimentos que, em época posterior, possam ser depositados no reservatório. Não é plausível, tampouco óbvio, adotar o critério de que uma barragem deva ser dimensionada para resistir ao esforço de uma coluna de rejeitos de mineração de ferro no lugar da água (a densidade da primeira é de longe superior à da segunda, o que gera esforços muito maiores sobre a estrutura). No caso de Candonga, quando da incidência dos rejeitos no reservatório, estes atingiram praticamente o nível d'água máximo normal, pois das três comportas tipo segmento do vertedouro, uma estava fechada (a do vão central) em manutenção. A onda de cheia artificial acarretou um pico de vazão descarregada pelo vertedouro de Candonga que pode ter atingido, momentaneamente, uma vazão afluyente da ordem de 50 anos de recorrência.

Presentemente (2021), o reservatório é operado rebaixado ao nível da soleira do vertedouro com as três comportas totalmente abertas para evitar o eventual estabelecimento de pressões para as quais a estrutura não foi projetada. A usina hidrelétrica está inoperante desde novembro de 2015.

Diante do fato ocorrido (e uma vez assimilada a surpresa), pondera-se que, daqui para frente, os requisitos de projeto devem incorporar a eventualidade de ocorrência similar em função das características regionais e da identificação de possíveis situações de risco, causadas pela possibilidade de colapso de estruturas de barragens situadas a montante.

- **Fugas d'água no reservatório**

Fugas d'água no interior de reservatórios, em áreas afastadas do sítio da barragem, decorrem praticamente de algumas situações básicas: a) da presença de caminhos de percolação resultantes de processos de dissolução, o que é típico de rochas calcárias; b) da fragilidade dos interflúvios, permitindo o fluxo d'água para bacias hidrográficas adjacentes; c) através de caixas de falha mais permeáveis, favorecendo o escoamento.

Embora haja registro deste tipo de problema em reservatórios de barragens construídas no exterior, não foram identificados no Brasil casos de acidentes que se enquadrem nesta categoria.

- **Rebaixamento rápido do nível do reservatório**

Sabidamente, um rebaixamento rápido que ocorra no interior de um reservatório de barragem se reflete, de forma negativa, na estabilidade dos taludes naturais, bem como no próprio barramento, caso este seja constituído por aterro compactado. Isso se deve ao brusco desequilíbrio que ocorre na composição de esforços atuantes e resistentes, seja nas encostas, seja no corpo da barragem.

A título de exemplo, pode-se citar o caso da barragem de Banabuiú, hoje Arrojado Lisboa, no Ceará (CE). Em 1961, na fase construtiva, ocorreram fortes chuvas que geraram intensas vazões afluentes ao local da estrutura. As vazões afluentes foram escoadas sem dificuldade através da galeria da tomada d'água. Ocorreu, entretanto, após o pico da cheia defluente, um episódio de rebaixamento rápido do nível d'água, não bem esclarecido, que causou o escorregamento do talude de montante da barragem (DNOCS, 1982). Devido a este deslizamento, a seção transversal típica foi "reajustada". Os serviços foram reiniciados em 1963 e concluídos em 1966.

6.2.8 A jusante da barragem (Tipo 2.7)

- **Em bacias de dissipação**

Este tem sido um dos mais recorrentes problemas verificados a jusante de estruturas de vertimento em concreto na área de dissipação de energia em função da implantação de bacia de dissipação das energias vertidas, capaz de restituir as águas a jusante com seu poder de erosão diminuído.

A incidência de casos ocorridos resulta em uma longa relação de sítios, entre os quais podem ser citados, por sua relevância, os vertedouros das barragens de Jupia, Ilha Solteira e Porto Primavera, no rio Paraná; Coaracy Nunes, no rio Araguari; Camargos, Marimondo e Porto Colômbia, no rio Grande; Capivara, no rio Paranapanema; Chapéu d'Uvas, no rio Paraibuna.

Para fins de ilustração, reproduz-se aqui a imagem da bacia de dissipação da UHE Marimbondo, no rio Grande (MG), objeto de intervenções e reparos em mais de uma oportunidade (**Figura 1.48**). Na figura, a ferragem retorcida é o que sobrou da laje de concreto que protegia o maciço rochoso da bacia de dissipação. No caso de Marimbondo, a operação assimétrica de comportas causava um fluxo circulatório que removia blocos de rocha do maciço a jusante da bacia de dissipação, trazendo-os para dentro da estrutura de concreto, onde faziam um trabalho de erosão similar ao que ocorre em fundos de rio pelo efeito abrasivo de blocos rochosos.

Embora consagrados livros técnicos, como o *Design of Small Dams*, editado diversas vezes pelo prestigioso *U.S. Bureau of Reclamation*, órgão do Departamento do Interior dos EUA, incluam recomendações de dimensionamento de bacias de dissipação em vertedouros, a experiência tem mostrado que a inclusão de blocos de impacto nessas bacias tem resultado na necessidade de manutenções frequentes.



Figura 1.48 – Bacia de dissipação da UHE Marimbondo, rio Grande (MG). As ferragens são o que sobrou do concreto de revestimento do piso da bacia após erosão causada pela operação assimétrica de comportas (Carvalho, E., 2016)

A UHE Porto Colômbia, construída no rio Grande (MG/SP), tem vertedouro com nove comportas tipo segmento de 15 m x 15,5 m com capacidade total de 16 mil m³/s. A bacia de dissipação do tipo II do *Bureau of Reclamation* foi dimensionada para uma fração da descarga de projeto do vertedouro definida para número de *Froude* acima de 4,5 e velocidade de 15 m/s. A bacia de dissipação dispõe de blocos de dissipação no final da calha do vertedouro e blocos de impacto no final da bacia de dissipação. Após dez anos de operação, apesar de estar em rio bem regularizado, uma inspeção subaquática revelou erosões com exposição de ferragens nos blocos e na laje a jusante destes. Após mais sete anos, nova inspeção foi feita, tendo revelado o aprofundamento das erosões. No período de março a dezembro de 1994, com proteção de ensecadeira a jusante, houve a recuperação da bacia de dissipação com a remoção dos blocos dissipadores de energia e dos blocos de impacto. A **Figura 1.49** abaixo mostra a deterioração da bacia pela presença dos blocos dissipadores de energia.



Figura 1.49 - Reparo dos blocos da calha e laje de jusante (Carvalho, E., 2009)

- **Por correntes de retorno**

A restituição das águas para o rio a jusante de uma barragem pode causar sérios danos às margens e ao próprio empreendimento, dependendo da qualidade do substrato sobre o qual o caudal escoar, da configuração do canal de descarga, da eventual presença de obstáculos ou da existência de correntes de retorno que não tenham sido adequadamente avaliadas.

Este foi o caso da hidrelétrica Água Vermelha, no rio Grande (SP/MG). O caudal, que saía do vertedouro no início de sua operação, por ter sido operado com comportas assimétricas, gerou forte corrente de retorno e, em pouco tempo, provocou intensa erosão no enrocamento de jusante da barragem da margem esquerda (**Figura 1.50**). Antes que o acidente evoluísse a ponto de comprometer a integridade da estrutura, uma ensecadeira de emergência foi construída e o dano reparado com implantação de um muro protetor de concreto.



Figura 1.50 – UHE Água Vermelha: vista parcial após o reparo realizado no encontro do vertedouro com a margem esquerda (área assinalada), onde correntes de retorno causaram erosão no pé do enrocamento (Internet)

- **Por impacto direto sobre a rocha**

Permanecendo no âmbito das ocorrências relativamente recentes de erosão a jusante de vertedouros, podem-se citar os casos das barragens de Itaúna (Souza & outros, 2002), Pacajus e Rosário (Fontanelle & outros, 2007). Independentemente do tipo de dissipação de energia utilizado, a ausência de elementos de proteção contra a erosão regressiva a jusante das estruturas vertentes foi a principal responsável por colocar em risco a segurança das próprias estruturas, sendo que, em dois dos três casos, a situação de risco se materializou logo após o primeiro vertimento. O evento do vertedouro de labirinto de Pacajus é documentado na **Figura 1.51**.



Figura 1.51 – Vertedouro em labirinto da barragem de Pacajus (CE). Sem elementos de proteção da rocha, a erosão regressiva alcançou a base da estrutura, colocando em risco sua integridade. Notar a erosão diferencial ao longo de faixas de menor resistência à ação das águas (Fontanelle & outros, 2007)

Outro caso emblemático sobre erosão a jusante de vertedouros é o da hidrelétrica Moxotó (Apolônio Sales), situada no rio São Francisco, a montante da cidade de Paulo Afonso (BA). Seu sistema extravasor, constituído por um descarregador de fundo operado por 20 comportas de segmento de 8,30 m x 10 m, com capacidade de descarga de 28 mil m³/s, levou ao surgimento de problemas erosivos regressivos no pé da estrutura pouco tempo após o início de operação (**Figura 1.52**). A dissipação de energia das descargas liberadas para jusante em uma bacia plana, em rocha natural regularizada, sem revestimento e afogada pela presença de nível d'água do reservatório de Paulo Afonso I a jusante, não ocorreu como havia sido previsto, requerendo intervenções para reparos.



Figura 1.52 – UHE Moxotó (Apolônio Sales) – Erosão sobre rocha (Souza & Souza, 1992)

6.2.9 Acidentes em cascata

No Brasil, a principal fonte de informações sobre acidentes em barragens tem sido, historicamente, a imprensa regional que, mesmo sem apresentar registros tecnicamente detalhados, tem fornecido quadros e relatos (em geral) fidedignos sobre o alcance e a extensão dos danos trazidos para propriedades, núcleos urbanos, vias de comunicação, obras de arte, etc.

Deve-se à imprensa regional o registro de um significativo número de casos de acidentes em cadeia em que o colapso de uma barragem causou danos em barragens situadas a jusante. Frequentemente, ocorrem galgamentos que trazem transtornos à população ribeirinha. É o chamado “efeito dominó” ou “efeito cascata”, via de regra, desencadeado por episódios de elevada pluviosidade concentrada em determinada área em curto espaço de tempo. Os casos mais conhecidos registrados no Brasil constam na **Tabela 1.11**, a seguir. Dentre eles, chama a atenção a recorrência de acidentes nas bacias dos rios Canhoto e Mundaú (AL), com quatro registros.

RIO	BARRAMENTOS ENVOLVIDOS	DATA	REFERÊNCIAS
Canhoto e Mundaú (AL)	Usina Serra Grande e Rio Largo	15/03/1969 25/06/2010 03/03/2014 03/03/2015	Mello&Pires2010 Medeiros2015bis Ticianelli2016
Pardo (SP)	Euclides da Cunha, Limoeiro e Coronel Soares	19/01/1977	Siqueira1978 Budweg1982 Eletrobras2000 ABGE2017
Trairi (CE)	Santa Cruz e Trairi	01/04/1981	DNOCS1982
Não identificado (CE)	Palmácia	Abril/2001	COGERH2007 Oliveira2008 Menescal/DeMauro
Não identificado (MG)	Herculano	10/09/2014	RSB-ANA2014 Galo2016 Viotti2016
Doce (MG)	Fundão, Santarém e Bicas	05/11/2015	ABRAPCH (Bicas)
Claro (MT)	São José do Rio Claro	06/02/2018	Internet-g1.globo.com
Quati (BA)	Pedro Alexandre	11/07/2019	Internet-AgênciaBrasil Internet-g1.globo.com

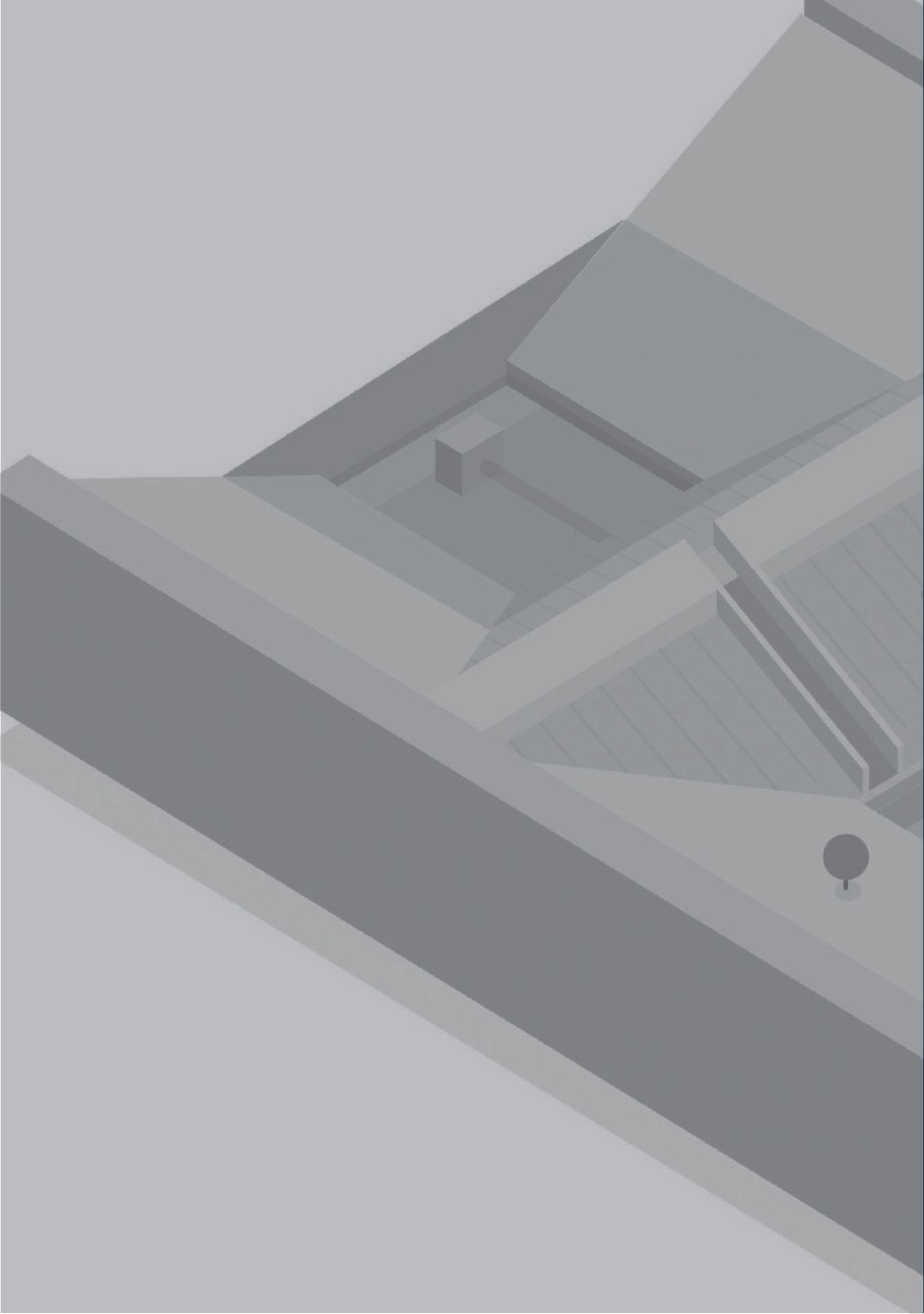
Tabela 1.11 – Acidentes em cascata ocorridos no Brasil

O efeito cascata pode, também, ocorrer sem a contribuição de chuvas, sendo desencadeado por um primeiro colapso a montante dos demais atingidos.

Em Alagoas, nas bacias dos rios Canhoto e Mundaú, têm sido recorrentes os acidentes com fortes impactos nos núcleos urbanos localizados ao longo dos vales fluviais, tendo atingido com maior intensidade as partes mais baixas das cidades de São José da Laje, União dos Palmares e Rio Largo (**Figura 1.53**). Em cada evento ocorrido, as informações transmitidas por telefone, rádio e jornais resultavam desencontradas, ora atribuindo as inundações à ruptura de barragens, dentre elas a da usina Serra Grande, localizada no rio Canhoto, a montante de São José da Laje, ora à intensidade das chuvas. Os efeitos devastadores foram reais, mas as informações a respeito das causas carecem de melhor entendimento para que se possa distinguir o papel das enchentes causadas por chuvas intensas daquele atribuído ao eventual rompimento de barragens.



Figura 1.53 - Barragem destruída na cidade de Rio Largo (AL), em 25/06/2010 (Leo Caldas/VEJA) (Mello & Pires, 2010)



CAPÍTULO 7



Barragens de mineração: um capítulo à parte

7.1 *Registro das principais ocorrências*

7.2 *Barragens “órfãs”*

7.3 *Tendências atuais*

7.1 Registro das principais ocorrências

As barragens de mineração constituem um capítulo à parte por suas particularidades. Embora as atividades minerárias no Brasil remontem ao final do século XVII, com a descoberta de vultosas ocorrências de ouro em depósitos aluvionares e calhas fluviais em Minas Gerais, foi somente a partir da exploração das gigantescas ocorrências de minério de ferro do território mineiro que o ciclo de construção de barragens de rejeitos teve início.

Sob a denominação de “barragens de mineração” reúnem-se todas as estruturas que têm como destino armazenar materiais e produtos que não seja a água em seu estado natural. Assim, abrigam-se também, sob esta designação, os reservatórios que atendem a indústrias químicas e de transformação (metalúrgicas, por exemplo).

Cabe aqui a distinção entre os materiais residuais dos ciclos de mineração. Os “resíduos estéreis” das atividades minerárias provêm do processo de extração do minério. Quando a cobertura dos depósitos é removida, por meios manuais ou mecanizados, transporta-se e deposita-se o material sólido em áreas próximas. Já os rejeitos constituem o resíduo do processo de beneficiamento do minério e costumam assumir a forma de lama, com maior ou menor participação da fração aquosa. Estes últimos são transportados e armazenados em “tanques” ou “reservatórios” delimitados por barreiras erguidas com os materiais locais disponíveis, dentre eles, os próprios estéreis, rejeitos ou outros subprodutos sólidos das atividades minerárias.

O trato com resíduos, sejam estéreis ou rejeitos, era considerado um passivo por algumas empresas de mineração, com pouca ou nenhuma preocupação com os reflexos sobre o ambiente em termos de qualidade do ar, da água ou do espaço físico.

O Código de Minas, que apresenta as primeiras referências de proteção ambiental, data de 1940. O Ministério de Minas e Energia somente foi criado em 1960, mesma data da criação do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), que passou a coordenar as atividades do setor. A determinação da necessidade de apresentar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para as atividades minerárias data de 1986, através da Resolução CONAMA nº 01/86. A obrigatoriedade para a apresentação do Plano de Recuperação de Área Degradada somente apareceu três anos mais tarde, em 1989. Constata-se, assim, o quão recentes são as determinações legais iniciais voltadas para a proteção do meio ambiente.

As barragens para a disposição de rejeitos surgiram da necessidade de armazenamento dos materiais de descarte, o denominado passivo. Passaram a ser empregados, para tanto, os resíduos gerados pelas escavações ou os solos provenientes de áreas de empréstimo próximas, ou, até mesmo, os próprios rejeitos, quando apresentassem características granulares adequadas.

A exploração das jazidas minerais é atividade que permite a previsão de produção e descarte a longo prazo, de modo que se presta à implantação de barragens de alteamentos sucessivos, capazes de atender as necessidades graduais da mineradora, ano após ano. Uma vez erguido o dique inicial, o espaço útil, ou reservatório, é gradativamente preenchido pelos rejeitos, que, em geral, são lançados misturados com a água por meio de sistemas de bombeamento e tubulações. Pelas técnicas tradicionais dominantes, o meio aquoso propicia o espalhamento dos resíduos com segregação granulométrica, visto que as frações mais finas dos sedimentos alcançam distâncias maiores em relação ao ponto de despejo. Ciclones têm sido usados para segregar mais eficientemente os rejeitos a serem dispostos em reservatórios. Uma vez preenchido todo o espaço útil, a barragem deve ser alteada para abrir um novo volume disponível.

As três principais técnicas de alteamento são: alteamento por montante, por jusante e pela linha de centro. Cada qual apresenta custos diferenciados e vantagens (ou desvantagens) técnicas. O denominado alteamento por montante, em que o trecho alteado se apoia sobre os sedimentos contidos no reservatório, representa, em geral, o processo de custo mais baixo quando tecnicamente possível. Mas, ao mesmo tempo, encerra o maior grau de insegurança em função da variabilidade das características dos materiais de apoio do trecho alteado. A **Figura 1.54** mostra os processos de alteamento mais frequentes.

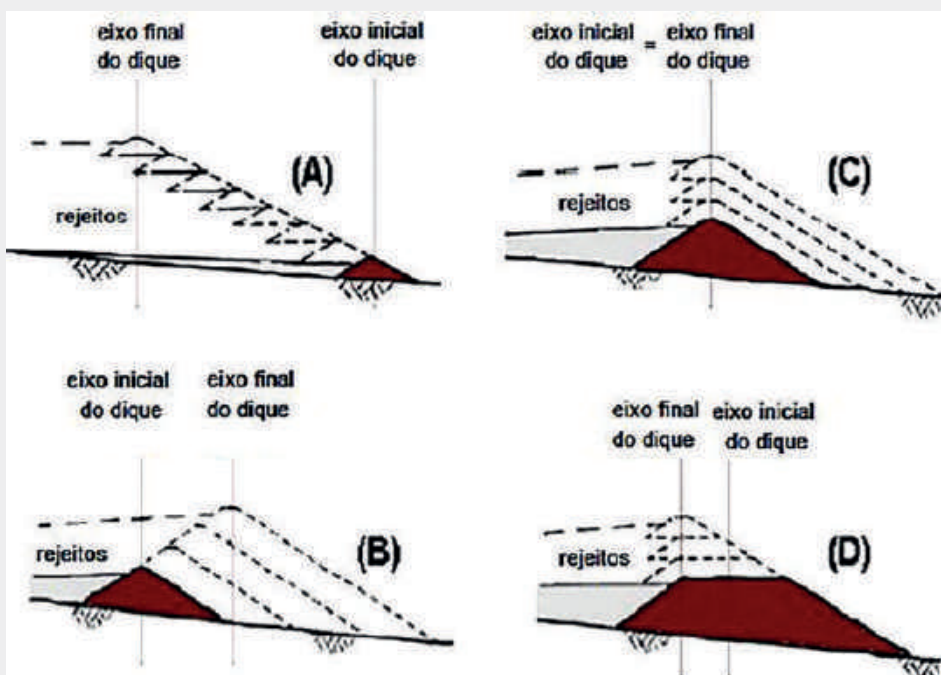


Figura 1.54 – Principais técnicas de alteamento em barragens de mineração: A - linha montante, B - linha jusante, C - linha de centro, D - linha de centro modificada (Souza Junior & outros, 2018)

Em 2020, existiam no Brasil entre 80 e 90 barragens consideradas de “alteamento por montante”, representando cerca de 10% das barragens de mineração no País. A legislação atual não mais permite esse tipo de construção e as barragens que foram implantadas com essa tecnologia estão em processo de descomissionamento e descaracterização.

Geralmente, o histórico de construção de uma barragem de rejeitos registra alteamentos sucessivos, defasados de alguns anos uns em relação aos outros, projetados e construídos por profissionais, equipes e construtoras diferentes. A adoção de critérios de projeto, parâmetros e procedimentos construtivos diferenciados gera insegurança a respeito da integridade e da resistência do empreendimento. Com frequência, as técnicas de alteamento podem ser modificadas, passando de uma para outra, não havendo obrigatoriedade de manter o mesmo procedimento em alteamentos sucessivos.

Modernamente, encontra-se a adoção, nas mais destacadas empresas de mineração, no Brasil e no exterior, do Engenheiro de registro (*Engineer of Record - EoR*) para minimizar a troca de responsáveis nas barragens de rejeitos.

Sabidamente, dentre todas as técnicas, a de alteamento por montante é a de maior risco visto que, em alguns casos, o fenômeno de liquefação afeta as condições de segurança da barragem. Deve-se a ele o registro de alguns dos mais graves acidentes ocorridos no Brasil e no exterior em barragens ativas ou desativadas. Recentemente, após os acidentes com barragens de rejeitos (Barragem B1 da Mina Retiro do Sapecado em Itabira, em 2014, Fundação da Mina Germano, em 2015, e Barragem B1 da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho, em 2019), a Agência Nacional de Mineração (ANM) determinou a proibição da construção de novas barragens pelo método do alteamento a montante, além da paralisação de todos os empreendimentos construídos ou em construção por esta técnica, bem como a desativação, descomissionamento e descaracterização dos existentes.

Um levantamento realizado recentemente (ANM, 2018) indicou a existência de 786 barragens de mineração no País, das quais pouco mais da metade estavam inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída em 2010 pela Lei nº 12.334 (**Figura 1.55**). Do total de barragens de mineração, 355 se encontravam no território de Minas Gerais.

Um retrospecto histórico de casos de acidente em barragens ligadas às atividades minerárias registra cerca de 20 casos, apresentados na **Tabela 4.1**, anteriormente.

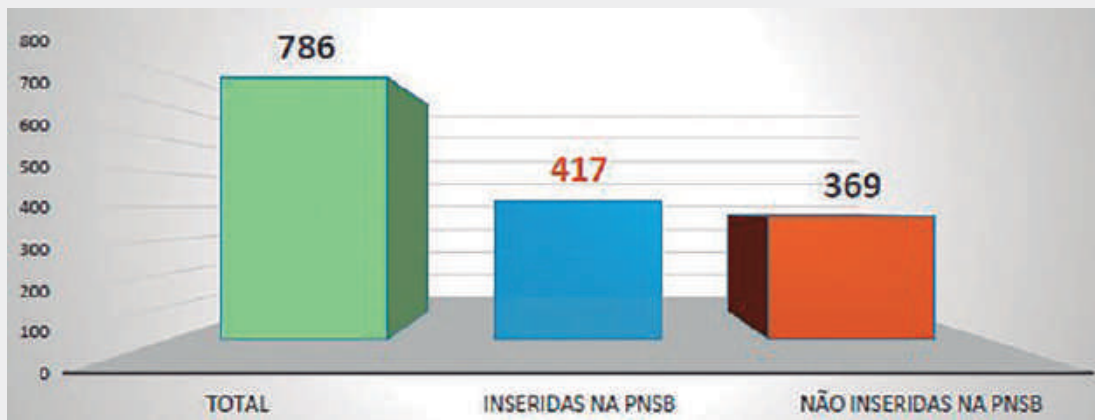


Figura 1.55 – Cadastro Nacional de Barragens de Mineração – Brasil (ANM, 2018)

Como já referido, abrigam-se sob a designação de barragens de mineração estruturas que atendem indústrias químicas e de transformação. Um caso emblemático da complexidade de problemas acarretados pela falência de uma indústria química e consequente abandono dos planos de manutenção dos tanques de sedimentação de seus eflúvios é o da Cia. Ingá Mercantil, que se instalou na Baía de Sepetiba, na Ilha da Madeira, próximo ao Porto de Sepetiba (RJ), em 1962, quando iniciou suas atividades processando minério para a produção de zinco de alta pureza, gerando grandes quantidades de resíduos contendo metais pesados, tais como o cádmio e o próprio zinco (**Figura 1.56**). O dique se rompeu diversas vezes, despejando água e lama tóxica sobre os manguezais da baía, afetando as atividades pesqueiras e marítimas.



Figura 1.56 – Passivo ambiental deixado pela Cia. Ingá (Google Earth, de 10/06/2004)

Com a falência da mineradora em 1998, configurou-se um passivo ambiental avaliado, na época, em R\$ 20 milhões. Cerca de 10 milhões de toneladas de cádmio e zinco haviam sido despejados na Ilha da Madeira nos 20 anos anteriores. A indústria foi abandonada e os sistemas de controle desativados. Diante da situação calamitosa, depois de embates jurídicos que duraram anos, o Governo Estadual acabou assumindo o encargo de realizar obras emergenciais. Em 2008, a Usiminas arrematou a área em leilão e deu continuidade ao processo de descontaminação e recuperação ambiental do terreno. Mais detalhes sobre o caso são apresentados na segunda parte do livro, em Relatos.

Outra ocorrência que se distancia do modelo convencional de barragens de mineração foi registrada, em fevereiro de 2016, às margens do rio Paraíba do Sul, na região de Jacareí (SP), em área fonte de abastecimento de areia de construção para a Grande São Paulo. A extração da areia por dragagem dos imensos depósitos existentes na extensa baixada local e nos terraços marginais gera, com frequência, desequilíbrios locais. Mais do que por barragens, as áreas de dragagem são delimitadas por cordões naturais de materiais sedimentares (areias, siltes e argilas) que as definem e identificam. O conceito de barragem decorre da existência de um desnível entre a área de dragagem e o nível d'água do rio.

O rompimento de um desses cordões por uma empresa de extração de areia atingiu, em fevereiro de 2016, o rio Paraíba do Sul, despejando sedimentos e deixando a água do rio mais turva e com alto teor de sólidos. Com isso, o tratamento da água captada do rio Paraíba do Sul para abastecer as cidades da região ficou mais difícil, causando a interrupção do abastecimento de água para, pelo menos, 500 mil moradores de São José dos Campos (**Figura 1.57**).



Figura 1.57 – Jacareí (SP): vazamento de água com sedimentos através da brecha aberta na “barragem” (assinalada pela seta) (Globo.com.g1)

O caso mais comum de acidente com barragem associada à extração de minério de ferro pode ser exemplificado, dentre as várias ocorrências registradas no território de Minas Gerais, pelo recente e trágico rompimento da Barragem I da Mina Córrego do Feijão. Localizada no município de Brumadinho, a estrutura colapsou subitamente em 25 de janeiro de 2019, deixando um gigantesco rastro de destruição (**Figura 1.58**).

O colapso instantâneo da barragem de rejeitos despejou em ato contínuo um volume de material avaliado em 12 milhões de m³. A onda de lama percorreu longa distância rumo a jusante, alcançando o rio Paraopeba e deixando um rastro de destruição e mortes.



Figura 1.58 – Área da barragem do Córrego do Feijão e a faixa de terreno impactada (Google Earth, de 28/01/2019)

7.2 Barragens “órfãs”

No vasto campo das estruturas abandonadas em território nacional, conta-se um número desconhecido de barragens, minas, pedreiras, pilhas de estéreis e rejeitos, cada qual representando uma fonte de risco potencial.

No RSB 2017 (pág. 19), é apresentada a informação sobre a existência de 570 barragens “órfãs”, isto é, desprovidas de empreendedor identificado. Tais estruturas se localizavam, principalmente, nos Estados da Paraíba (222), Rio Grande do Norte (170) e Bahia (104).

A relação das chamadas barragens “órfãs” abrange desde reservatórios abandonados pelos responsáveis até aqueles que possuem um cadastro básico nos órgãos de controle, mas cujos responsáveis jamais buscaram obter autorização legal para funcionar, sendo, portanto, completamente irregulares.

A Agência Pública de Jornalismo Investigativo elaborou um mapa interativo com base nas informações do primeiro cadastro de minas paralisadas e abandonadas, divulgado em janeiro de 2016 pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). Do total de áreas vistoriadas pela FEAM entre 2014 - 2015, no Estado de Minas Gerais, 169 foram confirmadas como abandonadas, 231 como paralisadas e 134 foram classificadas como paralisadas sem controle ambiental - muitas na categoria de baixo e médio risco. Outras 97 se encontravam paralisadas com controle ambiental, equivalendo a 24% do total de 400 áreas. A **Figura 1.59** oferece uma visualização dos resultados do levantamento com indicação do nível de risco associado. Parte significativa deste total é constituída por barragens de rejeitos.

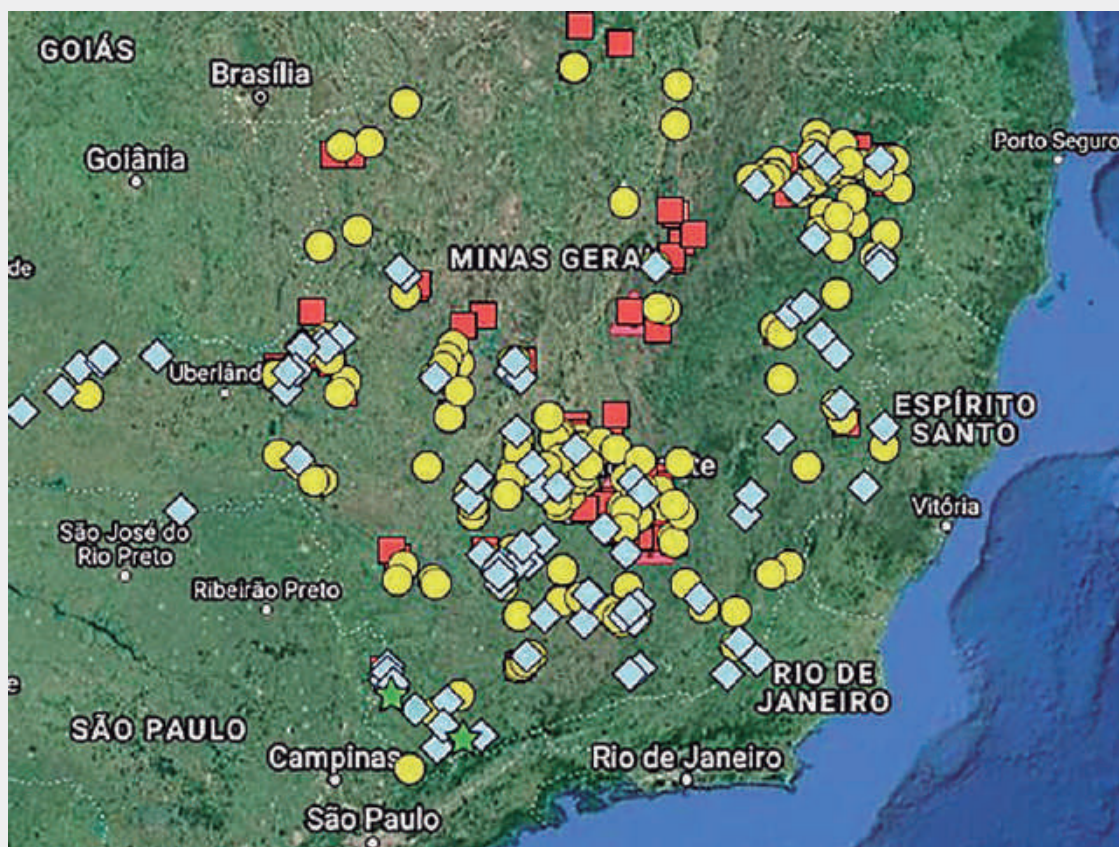


Figura 1.59 – Níveis de risco em minas abandonadas. Triângulos vermelhos são situações de muito alto risco; quadrados vermelhos, alto risco; círculos amarelos, médio risco; quadrados azuis, baixo risco (Agência Pública de Jornalismo Investigativo, 2017)

Dentre as barragens abandonadas destacava-se o caso da Mina do Engenho, localizada nas vizinhanças do núcleo urbano de rio Acima, em Minas Gerais, que conta com duas barragens abandonadas em 2012 (**Figura 1.60**).

Diante do nível de risco muito alto (o mais elevado dentre todos os casos avaliados) e da dificuldade de acionar os proprietários, o Estado de Minas Gerais se viu na obrigação de assumir o encargo e os custos do descomissionamento da mina, o que já foi colocado em andamento em 2019. O caso é apresentado em Relatos.



Figura 1.60 – A Mina do Engenho (MG) representa o caso de mais alto nível de risco, tendo seu descomissionamento sido assumido pelo Governo do Estado (<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/31/barragens-com-maior-potencial-de-dano-do-pais-oferecem-risco-de-contaminacao-quimica-a-manancial-na-grande-bh.ghtml>)

7.3 Tendências atuais

Como já referido anteriormente, em levantamento realizado pela Agência Nacional de Mineração (ANM), após o acidente com a barragem B-1 em Brumadinho (Parecer Técnico nº 07/2019), constatou-se a existência de 84 barragens de mineração construídas ou alteadas pelo método “montante” ou por método declarado como desconhecido na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Em decorrência disso, como já mencionado, a utilização da técnica de construção ou alteamento de barragens de mineração denominada “montante” foi proibida em todo o território nacional (Resolução ANM nº 04/2019). A mesma Resolução determinou também que todas as barragens construídas por este método fossem definitivamente desativadas e descomissionadas ou descaracterizadas, dentro de um cronograma estabelecido, cuja data limite foi fixada em 15 de agosto de 2020.

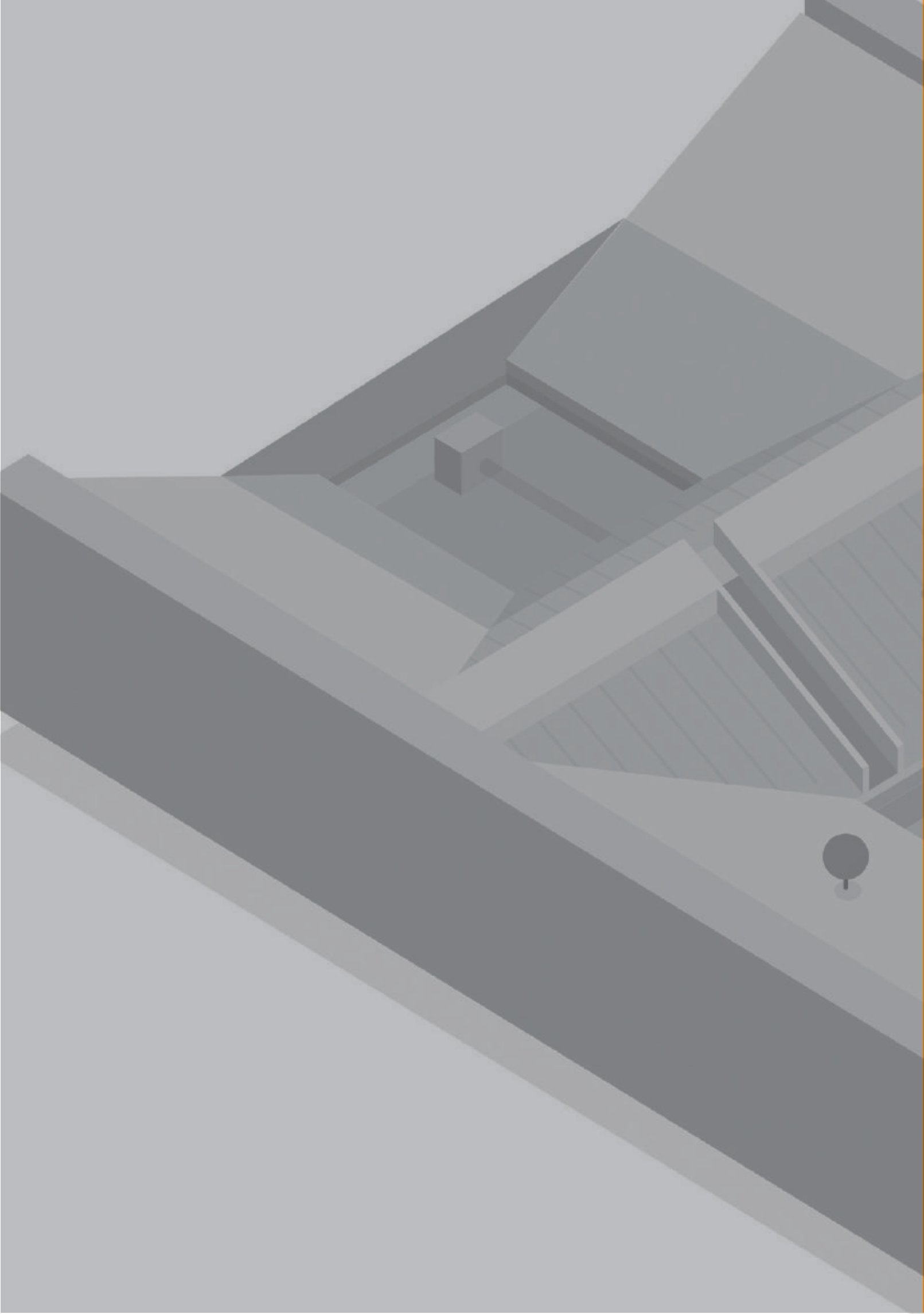
Uma das principais características dos recentes e graves acidentes com barragens de rejeito em Minas Gerais tem sido o súbito desencadeamento do processo de ruptura, interpretado como decorrente da liquefação dos rejeitos armazenados, causada por fatores diversos (aumento de poropressões, redução progressiva de resistência dos materiais, vibrações provocadas por equipamentos mecânicos, sismos). Em todas as hipóteses, o papel desempenhado pela presença da água foi considerado crucial, seja no disparo do mecanismo de ruptura, seja pelo agravamento dos danos causados pela massa que se desloca subitamente rumo a jusante (quanto mais veloz, menor sua viscosidade).

Em recente trabalho publicado, Bittar (2017) analisou o papel da água no desencadeamento de acidentes em barragens de rejeitos e apresentou uma síntese, conforme a **Tabela 1.12**, a seguir.

A partir do consenso de que a redução da quantidade de água nos rejeitos é benéfica de várias formas, dentre elas na redução do potencial de danos em caso de ruptura da barragem, bem como na redução do risco de ruptura por liquefação, diversas técnicas têm sido desenvolvidas neste sentido. Na técnica de redução do teor de água por “espessamento”, o resíduo final apresenta elevada viscosidade, a ponto de se tornar pastoso. Na técnica de “filtragem”, o teor de umidade alcança níveis tão baixos que os rejeitos são espalhados e compactados na praça utilizando procedimentos convencionais de compactação de solos. Realce deve ser dado à atual (2021) implantação de quatro plantas de desaguamento de rejeitos pela Vale, três das quais serão as maiores do planeta. Evidentemente, em troca da redução de riscos, o emprego dessas técnicas acarreta custos operacionais adicionais, além do fato de que, tal como em aterros convencionais, os níveis de pluviosidade passam a ser um fator a ser levado em conta.

MODO DE FALHA	PROBLEMAS COM À GESTÃO DA ÁGUA
Galgamento	• Controle do reservatório inadequado - Grande quantidade de água acumulada. • Volume da amortecimento insuficiente. • Ausência de comprimento de praia adequado.
	• Projeto de vertedouro ou critério hidrológico/hidráulico inadequados.
	• Obstrução do vertedouro ou falha estrutural. • Falha nas estruturas de desvio.
	• Controle do balanço hídrico e de massa inadequados. • Falha no acompanhamento do nível de enchimento do reservatório.
Liquefação e Erosão Interna	• Projeto de drenagem (interna e superficial) inadequados. • Presença de material saturado.
	• Controle do reservatório inadequado - Caminhos preferenciais de percolação com fluxo concentrado. • Ausência de praia adequada.
	• Aumento das por opressões induzido por uma subida da superfície freática.
	• Sismos naturais acima da magnitude do projeto.
	• Solos susceptíveis a instabilidade interma (sufusão).
	• Fluxo concentrado ao longo e/ou para dentro de condutos enterrados.
	• Fluxo concentrado no contato com estruturas de concreto.
Instabilização	• Rebaixamento rápido do reservatório.
	• Baixa resistência do material da fundação e/ou do maciço da barragem.
	• Por opressões elevadas.
Contaminação	• Caminhos preferenciais de percolação com fluxo concentrado (falha do revestimento para barragens revestidas ou erosão interna).
	• Controle do balanço hídrico e de massa inadequados.
	• Falha no acompanhamento do nível de enchimento do reservatório. • Vertimento.

Tabela 1.12 – Modos de falha decorrentes de problemas com gestão da água em barragens de rejeitos (Bittar, 2017)



CAPÍTULO 8

Avaliação estatística de acidentes e incidentes registrados

O conjunto de incidentes e acidentes objeto da **Parte 2** do livro é constituído por 166 casos (sobre 160 barragens) com dados suficientes para configurar um relato contendo as informações básicas. Entretanto, este conjunto abrange apenas uma parcela minoritária dos eventos ocorridos no País em tempos históricos. Sua atualização e a incorporação de novos casos representam tarefas a serem empreendidas futuramente.

Adotando-se a sistemática de classificação de eventos com base na identificação do componente físico atingido, e não de suas causas, chega-se à distribuição de casos apresentada na **Tabela 1.13**. A identificação das causas resulta dificultada ou impossibilitada pelo escasso ou inexistente nível de informações sobre mais da metade dos casos coletados.

O somatório do número de casos (185) é superior ao número de barragens relacionadas (166) pelo fato de diversas barragens terem apresentado mais do que um acidente ou incidente.

ETAPA		TIPO	COMPONENTE FÍSICO ATINGIDO	NÚMERO DE CASOS
1	Etapa construtiva (sem água no reservatório)	1.1	Ensecadeiras	8
		1.2	Corpo da barragem em construção	5
		1.3	Escavações temporárias	2
2	Etapa de enchimento ou operação (com água no reservatório)	2.1	Crista da barragem (galgamento)	20
		2.2	Corpo da barragem	60
		2.3	Fundação da barragem e/ou ombreiras	14
		2.4	Interfaces e áreas de transição entre componentes da obra	4
		2.5	Obras anexas: Túnel de adução Conduto forçado Chaminé de equilíbrio Túnel ou canal de desvio Câmara de carga Canal de aproximação/adução Vertedouro de ombreira Calha do vertedouro Bacia de dissipação Casa de força Canal de fuga Dique auxiliar	44
		2.6	Reservatório	4
		2.7	Fossa de erosão (de amortecimento) Jusante da barragem (leito e margens do rio) Jusante do dique (encosta)	11
3	Acidentes em cascata	Sucessão de eventos		13

Tabela 1.13 – Número de casos de acidentes em barragens e obras anexas, com base na identificação do componente físico atingido pelo evento

Uma análise estatística da distribuição de casos da **Tabela 1.13** conduz ao gráfico da **Figura 1.61**.

Algumas considerações que disso resultam são:

a) A incidência de eventos (casos) registrados na etapa construtiva (1.1 a 1.3) foi da ordem de 8% do total e atingiu, principalmente, como não podia deixar de ser, as estruturas de ensecadeiras. Em metade desses casos o corpo da barragem em construção foi também atingido;

b) Na etapa pós-construção, isto é, na fase operacional, cerca de um terço do total de eventos a que se teve acesso afetou diretamente o corpo da barragem (2.2), embora não se possua informações suficientes para descrever de que maneira isso ocorreu em parte dos casos;

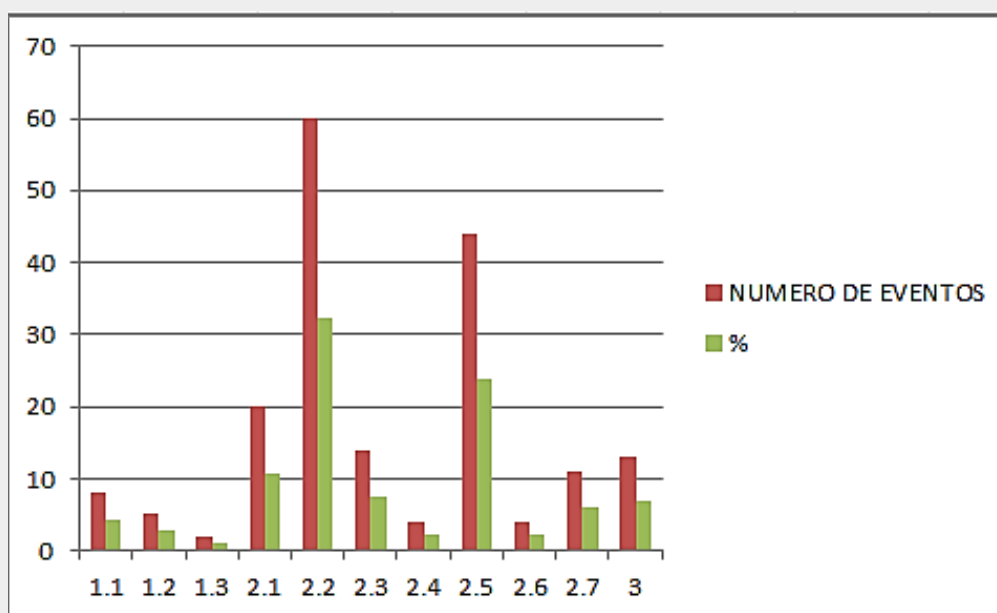


Figura 1.61 – Distribuição dos eventos (casos) em número e percentual

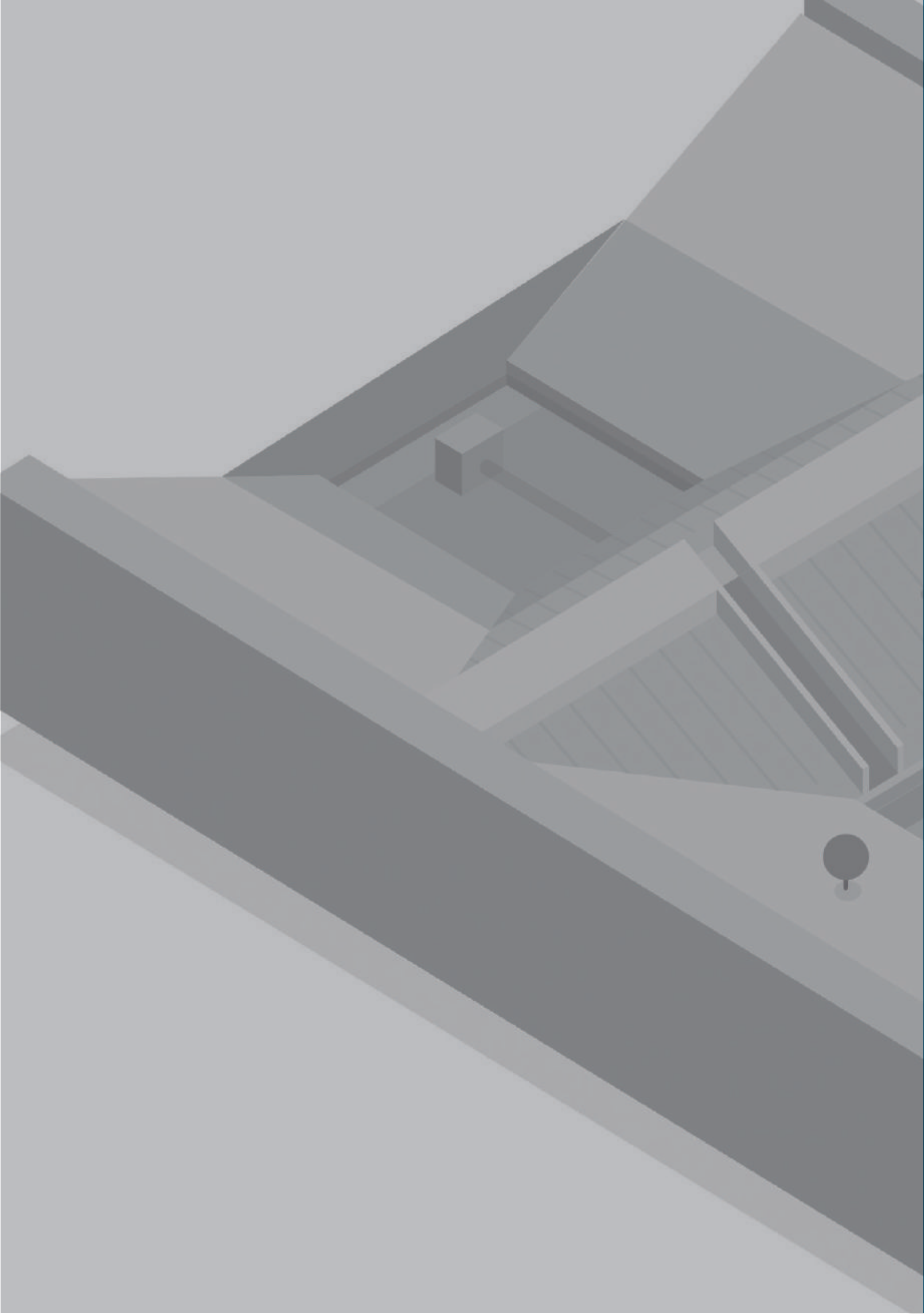
Os casos de galgamento de que se tem notícia confiável (2.1) foram da ordem de 11% do total. Esses casos afetaram o corpo da barragem em maior ou menor intensidade;

Dentre todos os eventos, 48% (1.2 + 2.1 + 2.2) atingiram a barragem, durante ou após a construção, por galgamento ou de outra forma;

e) Dentre todos os eventos, 24% (2.5) atingiram diretamente obras anexas à barragem, sem ter afetado a integridade desta;

f) 2% dos eventos a que se teve acesso ocorreram na área do reservatório (2.6) e se resumem a processos de assoreamento ou tombamento de encostas nas margens;

g) 7% dos eventos são oriundos de acidentes em cascata (correspondendo ao chamado “efeito dominó”), quando o rompimento parcial ou total de uma barragem provoca uma onda de cheia que atinge outra(s) barragem(ns) a jusante, causando danos.



Legislação sobre segurança de barragens no Brasil

9.1 *Dos primórdios até a decretação da Lei nº 12.334*

9.2 *Sucessão de eventos*

9.3 *Legislação específica para barragens de rejeitos*

9.4 *Regulamentações e aperfeiçoamentos da Lei nº 12.334*

9.5 *Deliberações Normativas por parte dos Estados da Federação*

9.6 *Legislação da Defesa Civil*

9.7 *Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA)*

9.8 *Acordo de Cooperação Técnica em Segurança de Barragens (ACT-SB)
nº 31/2018*

A preocupação com a segurança das barragens no Brasil tem se refletido em um aumento exponencial de medidas adotadas pelos órgãos governamentais responsáveis, em particular a partir dos mais recentes desastres nas barragens do Fundão (2015), no município de Mariana e do Córrego do Feijão, no município de Brumadinho (2019). Neste capítulo é feita referência às determinações que mais influenciaram nas esferas federal e estadual, sem a pretensão, entretanto, de fornecer uma cobertura completa.

9.1 Dos primórdios até a decretação da Lei nº 12.334

No Brasil, a primeira tentativa de se obter uma legislação adequada para a Segurança de Barragens remonta a 1977, por sugestão do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, hoje Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), em decorrência do rompimento das barragens de Euclides da Cunha e Limoeiro, no rio Pardo, Estado de São Paulo. Também em decorrência do mesmo acidente deu-se a promulgação do Decreto-Lei Nº 10.752, de 21 de novembro de 1977. Em seu Art. 1º determinava: *“As Autarquias e Companhias, em cujo capital o Estado tenha participação majoritária, e que sejam responsáveis pela construção e operação de barragens e estruturas a elas associadas, deverão realizar auditoria técnica externa permanente, nos termos deste decreto”*. O Decreto, entretanto, não chegou a ser regulamentado.

Propósito similar foi perseguido pela Comissão de Deterioração e Recuperação de Barragens do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, desde 1986.

Uma sequência cronológica das atividades que antecederam a aprovação da Lei nº 12.334 pode ser assim resumida:

a) **2002** – O Ministério de Integração Nacional (MI) publicou o Manual de Segurança de Barragens, primeiro documento de caráter nacional oficial a detalhar, como o próprio nome indica, as ações referentes à Segurança de Barragens. O manual se baseou no Guia Básico de Segurança de Barragens, elaborado pelo Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, apresentado pela primeira vez em 1999. Apesar de estar previsto no manual que sua utilização era obrigatória, não existiam mecanismos para seu cumprimento;

b) **2003** - A legislação de Segurança de Barragem, ora em vigor, teve como ponto de partida uma versão preliminar de Projeto de Lei (PL) denominado Substitutivo de PL Nº. 1181, de 2003, de autoria do deputado Leonardo Monteiro, motivado pelo rompimento da barragem de Cataguases. Em março de 2003, Cataguases lançou 1,4 milhão de m³ de efluentes industriais nos rios Pomba e Paraíba do Sul, atingindo o norte e o noroeste fluminense (RJ);

c) **2003** - Foi criado o Grupo de Trabalho no âmbito da Câmara Técnica de Análise de Projetos (CTAP) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (GT SB CTAP/CNRH) para discutir o tema;

d) **2004** - Ao final dos trabalhos, o Grupo de Trabalho encaminhou minuta de substitutivo que foi discutida e aprovada pela Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais (CTIL) e, posteriormente, pelo plenário do CNRH, dando origem ao Projeto de Lei PLC nº 168/2009;

e) **2010** - Após sete anos de tramitação na Câmara dos Deputados e após aprovação também pelo Senado foi sancionado pela Presidência da República, em 21 de setembro de 2010, o Projeto de Lei nº 12.334 que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

f) **2020** - No ano de 2020 foi sancionada a Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, alterando as Leis nº 12.334/2010 (que estabeleceu a PNSB), nº 7.797/1989 (que criou o Fundo Nacional do Meio Ambiente), nº 9.433/97 (que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos) e o Decreto-Lei nº 227/67 (Código de Mineração). Essa Lei estabeleceu novas proposituras para a PNSB, destacando-se: definições de responsabilidades na fiscalização de barragens de rejeitos nucleares e barragens pertencentes à CGHs; definições sobre a interface PAE/PLANCON; exigência de o PAE ser elaborado ouvindo-se a população potencialmente afetada, além de estar implementado antes do início do primeiro enchimento das barragens; proibição de construção de barragens de mineração pelo método de alteamento a montante; inclusão de guias de boas práticas como instrumento da política; criação de sanções e penalidades na PNSB, com multas que podem chegar a um bilhão de reais; ampliação da exigência de PAE para todas as barragens de contenção de rejeitos de mineração, além de todas as barragens classificadas com Dano Potencial Associado médio; transferência a empreendedores de atribuições anteriormente a cargo de órgãos de proteção e defesa civil; estabelecimento de possibilidade de exigência de seguro para barragens de mineração e geração de energia hidrelétrica, a depender de sua Categoria de Risco e Dano Potencial Associado (RSB 2020).

São fundamentos da Política Nacional de Segurança de Barragens: a segurança de uma barragem deve ser considerada em suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação, descaracterização e de usos futuros. Assim, a referida PNSB tem como objetivos garantir a observância de padrões de segurança, regulamentar, promover o monitoramento e acompanhar as ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens, de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências, em especial junto à população potencialmente afetada.

São instrumentos da PNSB:

- a) o sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;
- b) o Plano de Segurança de Barragem (PSB), incluído o PAE;
- c) o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);
- d) o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SINIMA);

- e) o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
- f) o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;
- g) o Relatório de Segurança de Barragens;
- h) o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH);
- i) o monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência;
- j) os guias de boas práticas em segurança de barragens.

Dentre as entidades fiscalizadoras, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foi a que recebeu mais atribuições, tais como: fiscalizar a segurança das barragens designadas como sendo de usos múltiplos situadas em corpos d'água de domínio da União, promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores na implementação da PNSB, organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre a Segurança de Barragens (SNISB) e, anualmente, coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens (RSB), encaminhando-o ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Com a criação de mecanismos de inter-relacionamento de diversos órgãos reguladores, federais e estaduais, a lei permitiu, a partir da sua aprovação, um acompanhamento mais próximo das condições de segurança das barragens existentes.

A Lei nº 12.334 se aplica a barragens que apresentem, pelo menos, uma das seguintes características, estando, desta forma, inseridas na PNSB:

- a) altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação até a crista, maior ou igual a 15 m;
- b) capacidade total do reservatório maior ou igual a 3 milhões de m³;
- c) reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- d) categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas;
- e) categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador.

Segundo a Lei nº 12.334, Art. 7º, as barragens são classificadas pelos agentes fiscalizadores por categoria de risco, por dano potencial associado e por seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A classificação por categoria de dano potencial em alto, médio ou baixo é obtida em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais.

9.2 Sucessão de eventos

Em seu preâmbulo, a Constituição da República Federativa do Brasil (1988) se refere à instituição de um estado democrático, destinado a assegurar, entre outras coisas, a segurança e bem estar da sociedade, o que, evidentemente, engloba a garantia de proteção contra as consequências de eventuais acidentes em barragens.

Este conceito é reafirmado em seu Artigo 225, que proclama: *“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”*

Como exposto ao longo deste texto, a proclamação contida no Art. 225 da Constituição Federal não tem sido seguida ao pé da letra, visto que os acidentes em barragens têm se avolumado, mesmo após a entrada em vigor da Lei nº 12.334.

No caso específico das barragens de rejeitos de mineração ou de resíduos industriais, o histórico de acidentes tem resultado, na maioria dos casos, em danos ambientais relevantes (em dois casos recentes, catastróficos), tendo afetado com gravidade os cursos d'água para onde fluíram os rejeitos. O material armazenado nas barragens de rejeitos apresenta (geralmente) consistência líquida e seu derramamento segue por gravidade o caminho percorrido (normalmente) pelas águas pluviais, sendo sempre o destino desses efluentes um curso d'água que os transportará em direção ao oceano. Portanto, um acidente com barragens de rejeitos é um evento que deve ser evitado porque suas consequências são nefastas.

9.3 Legislação específica para barragens de rejeitos

A partir da década de 90 começaram a ser introduzidos conceitos mais atualizados no projeto das barragens de rejeitos, tais como instalação de instrumentos de auscultação e acompanhamento do desempenho, tanto da barragem, quanto do próprio rejeito. Dessa forma, foram aumentando as exigências para a prática de gestão de barragens de rejeitos, condicionadas pelo aparecimento de regulamentações e normas. Dentre elas, as mais destacadas são:

2001 – Portaria nº 237 do DNPM – Determina a publicação das Normas Reguladoras da Mineração, que tem por objetivo disciplinar o aproveitamento racional das jazidas, considerando as condições técnicas e tecnológicas de operação, de segurança e de proteção ao meio ambiente. A NRM 19, que trata da disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos, é aprovada por esta Portaria;

2006 – ABNT NBR 13028 – Mineração – Trata da elaboração e apresentação de projeto de barragens para a disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. Esta Norma sofreu revisão em 2017;

2006 – ABNT NBR 13029 – Mineração – Com primeira edição publicada em 1996 e revisada em 2006, esta Norma especifica os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de pilha para disposição de estéril gerado por lavra de mina a céu aberto ou subterrânea, para atender as condições de segurança, operacionalidade, economia e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente. A Norma foi novamente revisada em 2017;

2010 – Lei Federal nº 12.305 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, que representa o conjunto de ações, procedimentos e meios destinados para viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

2010 – Lei Federal nº 12.334 – Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água, à disposição de rejeitos final ou temporária e à acumulação de resíduos industriais;

2012 – Portaria DNPM nº 416 – Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração, conforme Lei nº 12.334;

2013 – Portaria DNPM nº 526 – Estabelece a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM).

2017 - Portaria ANM nº 70.389 - Quando uma lei é criada, para sua perfeita aplicação se faz necessária a sua regulamentação via Resolução e/ou Portaria do Poder Executivo. Vale destacar que sua prerrogativa é apenas para complementar a lei. Ao Poder Executivo foi conferido o poder de regulamentar derivado, ou seja, aquele que pressupõe a edição de lei anteriormente promulgada, que necessita de complementação para sua efetiva aplicabilidade.

Deste modo, a Agência Nacional de Mineração (ANM) publicou, em 19 de maio de 2017, a Portaria ANM nº 70.389 com este fim, a qual criou o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispôs sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração, além do Plano de Ações de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM). O processo de construção deste normativo pela ANM contemplou consulta pública e reuniões com entes envolvidos, dentre outras ações, com o objetivo de dar a maior publicidade possível e acessibilidade à Portaria que estava por ser criada. De forma detalhada, esta Portaria:

- a) cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração;
- b) cria o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração;
- c) estabelece a periodicidade de execução ou atualização;
- d) estabelece a qualificação dos responsáveis técnicos;
- e) estabelece o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança das Inspeções de Segurança Regular e Especial da barragem;
- f) estabelece o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação Emergencial para as barragens de mineração, conforme Arts. 8º, 9º, 10º, 11º e 12º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragem (PNSB).

2017 - Norma Brasileira ABNT NBR 13028 - Trata-se de uma revisão da norma ABNT NBR 13028:2006. Esta norma, intitulada “Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água”, especifica os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de barragens de mineração, incluindo as barragens para disposição de rejeitos de beneficiamento, contenção de sedimentos gerados por erosão e reservação de água em mineração, visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente.

2019 - Resolução da ANM nº 4 – Promulgada em 15 de fevereiro, a resolução estabelece medidas regulatórias cautelares objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado “a montante” ou por método declarado como desconhecido. Em seu Artigo 20, a resolução proíbe a utilização do método de construção ou alteamento de barragens de mineração denominado “a montante” em todo o território nacional.

2019 – Resolução na ANM nº 13 – Promulgada em 8 de agosto, esta resolução se diferencia da de nº 4 em seu Artigo 30, em que estende para “*quaisquer barragens de mineração a proibição de conceber, construir, manter e operar (...) instalações destinadas a atividades administrativas, de vivência, de saúde e de recreação nas localidades pertencentes à poligonal da área outorgada ou em áreas averbadas no respectivo título minerário e inseridas na Zona de Autossalvamento (ZAZ)*”, além de outras determinações.

Em seu Artigo 40, determina que “*As estruturas a que se refere o art. 30 deverão: I – até 12 de outubro de 2019, ser desativadas ou removidas as instalações, obras e serviços referenciadas nos incisos I e III do art. 30, e II – até 15 de agosto de 2022, ser descaracterizadas as barragens de mineração referenciadas no inciso II do art. 30*”.

2020 - Lei nº 14.066 - Esta lei, promulgada em 30 de setembro de 2020, trouxe modificações à legislação aplicável à segurança de barragens e à atividade minerária, no sentido de estabelecer obrigações adicionais para elevar a segurança das estruturas, tornar mais eficientes os mecanismos de fiscalização, reforçar a responsabilidade dos empreendedores e definir infrações administrativas e tipos penais decorrentes do descumprimento do PNSB.

9.4 Regulamentações e aperfeiçoamentos da Lei nº 12.334

- **Resolução ANA nº 742/2011**

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foi pioneira dentre os órgãos reguladores como responsável pela primeira regulamentação editada e publicada dentre os órgãos incumbidos de detalhar alguns artigos da Lei nº 12.334/2010. A citada Resolução estabeleceu periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragens, conforme Art. 9º da Lei nº 12.334.

- **Resolução ANA nº 91/2012**

Esta Resolução estabeleceu a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem, conforme Art. 8º, 10º e 19º da citada Lei.

- **Resoluções CNRH nº 143 e nº 144, de 10 de julho de 2012**

Com o intuito de regulamentar os Art. 7º e 20º da Lei nº 12.334/2010, foi instituído o Grupo de Trabalho Interministerial, capitaneado pela Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais do CNRH (CTIL) para definição dos parâmetros e elucidação sobre:

a) critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e volume (Art. 7º da Lei nº 12.334/2010) (Resolução CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012) e

b) diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) (Artigo 20 da Lei nº 12.334/2010) (Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012).

A Resolução CNRH nº 143/2012 foi a mais debatida no âmbito do Grupo de Trabalho criado, pois foi necessário discutir os itens e os padrões que seriam usados para classificar todas as barragens brasileiras.

Já a Resolução CNRH nº 144/2012 estabelece diretrizes para a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens e para a atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Em seu Art. 2º, apresentou as seguintes definições: I – Acidente – comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório ocasionado pelo colapso total ou parcial da barragem ou estrutura anexa, e II – Incidente – qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente.

Estabeleceu, ainda, critério para o envio de informações à ANA para elaboração do Relatório Anual de Segurança de Barragens (RSB) que, posteriormente, deve ser submetido à apreciação e aprovação do Congresso Nacional. Regulamenta, ainda, o SNISB e seus entremeios.

- **Resolução Normativa ANEEL nº 696, de 15 de dezembro de 2015**

Tendo em vista o estabelecimento de critérios técnicos para gestão das barragens para exploração de potenciais de energia hidráulica, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) editou a Resolução Normativa nº 696/2015, que definiu as regras, via ementa, para:

- a) critérios de classificação;
- b) formulação do Plano de Segurança com estrutura e prazos;
- c) realização das inspeções de segurança regular e especial;
- d) Plano de Ação de Emergência (PAE);
- e) realização da Revisão Periódica de Segurança em conformidade com a Lei Federal nº 12.334/2010 (Política Nacional de Segurança de Barragens).

- **Resolução ANA nº 236, de 30 de janeiro de 2017**

A ANA, em substituição às Resoluções 742/2011 e ANA 91/2012, regulamentou a Resolução ANA nº 236/2017 com os dispositivos legais a ela imputados. Foram criadas as figuras da ficha de inspeção, do extrato de inspeção e do relatório de inspeções regulares, conforme preconizado na Lei federal.

A ANA teve o cuidado de inserir em suas definições a discretização de quais seriam as barragens abordadas por este regulamento e que seriam alvo da fiscalização da citada Agência. As barragens fiscalizadas pela ANA são aquelas situadas em rio de domínio da União, exceto aquelas destinadas à disposição de resíduos industriais ou rejeitos de mineração ou cujo uso preponderante seja a geração hidrelétrica.

9.5 Deliberações Normativas por parte dos Estados da Federação

No âmbito dos Estados e, principalmente, no Estado de Minas Gerais, onde ocorreram acidentes catastróficos em barragens de rejeitos, foram elaboradas Deliberações Normativas com o objetivo de indicar como, gradativamente, foi sendo dada mais importância ao assunto de Segurança de Barragens.

- **Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17 de dezembro de 2002**

Esta Deliberação dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatórios de água, em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais.

- **Deliberação Normativa COPAM nº 87, de 17 de junho de 2005**

Esta Deliberação altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17 de dezembro de 2002.

- **Deliberação Normativa COPAM nº 124, de 9 de outubro de 2008**

Esta Deliberação Normativa complementa a Deliberação Normativa COPAM nº 87, de 06 de setembro de 2005.

- **Deliberação Normativa COPAM nº 139, de 9 de setembro de 2009**

Esta Deliberação Normativa prorroga o prazo para que os proprietários apresentem a Declaração de Condições de Estabilidade de barragens de rejeitos e resíduos perigosos.

- **Decreto nº 46.993, de 2 de maio de 2016**

Institui a obrigatoriedade de realizar a Auditoria Técnica Extraordinária de Segurança de Barragens em todos os empreendimentos que fazem a disposição final ou temporária de rejeitos de mineração em barragens que utilizem, ou que tenham utilizado, o método de alteamento para montante.

Este Decreto teve como origem o entendimento no meio técnico de que essas barragens, com o processo de construção por alteamento a montante, apresentavam níveis de risco mais elevados do que em outros métodos conhecidos. Dentre outras determinações, este Decreto delibera:

Art. 8º - Os processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos que envolvam a disposição final ou temporária de rejeitos de mineração, em barragens que utilizem o método de alteamento para montante, formalizados antes da entrada em vigor deste Decreto, deverão seguir o trâmite normal, conforme estabelecido nas normas e procedimentos vigentes.

Parágrafo único - Na hipótese do *caput*, a Licença de Operação a ser expedida deverá incluir expressamente, como condicionante, a realização de Auditoria Técnica Extraordinária de Segurança de Barragens, nos termos deste Decreto, num prazo de até seis meses após o início de operação da barragem ou conclusão do alteamento.

- **Lei nº 7.192, de 6 de janeiro de 2016**

A Lei institui a Política Estadual de Segurança de Barragens (PESB) no Estado do Rio de Janeiro, tendo o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) como órgão fiscalizador das barragens, cuja finalidade é a acumulação de água em rios de domínio estadual (exceto para fins de geração de energia e extração mineral) e de resíduos industriais.

- **Lei nº 23.291, de 25 de dezembro de 2019**

Esta Lei institui a política estadual para a segurança de barragens no Estado de Minas Gerais, em articulação com a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelecida pela Lei Federal nº 12.334. Os principais tópicos instituídos nessa Lei são:

Art. 1º – Fica instituída a política estadual de segurança de barragens, a ser implementada de forma articulada com a Lei nº 12.334.

Parágrafo Único – Esta Lei se aplica em barragens destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos e resíduos industriais ou de mineração, que apresentem, no mínimo, uma das características a seguir:

I – altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação até a crista, maior ou igual a 10 m;

II – capacidade total do reservatório maior ou igual a 1 milhão de m³;

III – reservatório contendo resíduos perigosos;

IV – potencial de dano ambiental médio ou alto.

Art. 2º – Na implementação da política instituída por esta Lei serão observados os seguintes princípios:

I – prevalência da Norma mais protetiva ao meio ambiente e às comunidades potencialmente afetadas pelos empreendimentos;

II – prioridade para as ações de preservação, fiscalização e monitoramento pelos órgãos e pelas entidades ambientais competentes do Estado;

Art. 3º – O empreendedor é responsável pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento das ações necessárias para garantir a segurança nas fases de planejamento, projeto, instalação, operação e desativação e em usos futuros da barragem;

Art. 4º – O licenciamento e a fiscalização ambiental de barragens no Estado de Minas Gerais competem aos órgãos e entidades do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA), sem prejuízo das ações de fiscalização previstas no âmbito do PNSB.

9.6 Legislação da Defesa Civil

O Brasil começou a se estruturar para lidar com as fortes chuvas que assolaram a região Sudeste entre 1966 e 1967. Esses eventos provocaram enchentes no Estado da Guanabara e deslizamentos na Serra das Araras (RJ) e em Caraguatatuba (SP). No final da década de 60, foram instituídos o Ministério do Interior, o Fundo Especial de Calamidades Públicas (FUNCAP) e o Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas (GEACAP). A proposta de criar a Defesa Civil como estratégia para redução de riscos de desastres veio por meio do Decreto no 97.274, em 16 de dezembro de 1988, que organizou pela primeira vez o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC).

Destacam-se, a seguir, alguns dos instrumentos da legislação da Defesa Civil.

- **Decreto Federal nº 5.376, de 17 de fevereiro de 2005**

O Decreto dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) e o Conselho Nacional de Defesa Civil, além de dar outras providências, tendo sido revogado pelo Decreto nº 7.257.

- **Decreto Federal nº 7.257, de 4 de agosto de 2010**

Regulamenta a Medida Provisória nº 494 de 2 de julho de 2010 para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) a respeito do reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública, transferência de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução de áreas atingidas por desastre, além de outras providências.

- **Lei nº 12.608, de 11 de abril de 2012**

A Lei institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), dispondo sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SIMPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC). Autoriza, ainda, a criação do sistema de informações e monitoramento de desastres, alterando diversas leis anteriores.

- **Instrução Normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012**

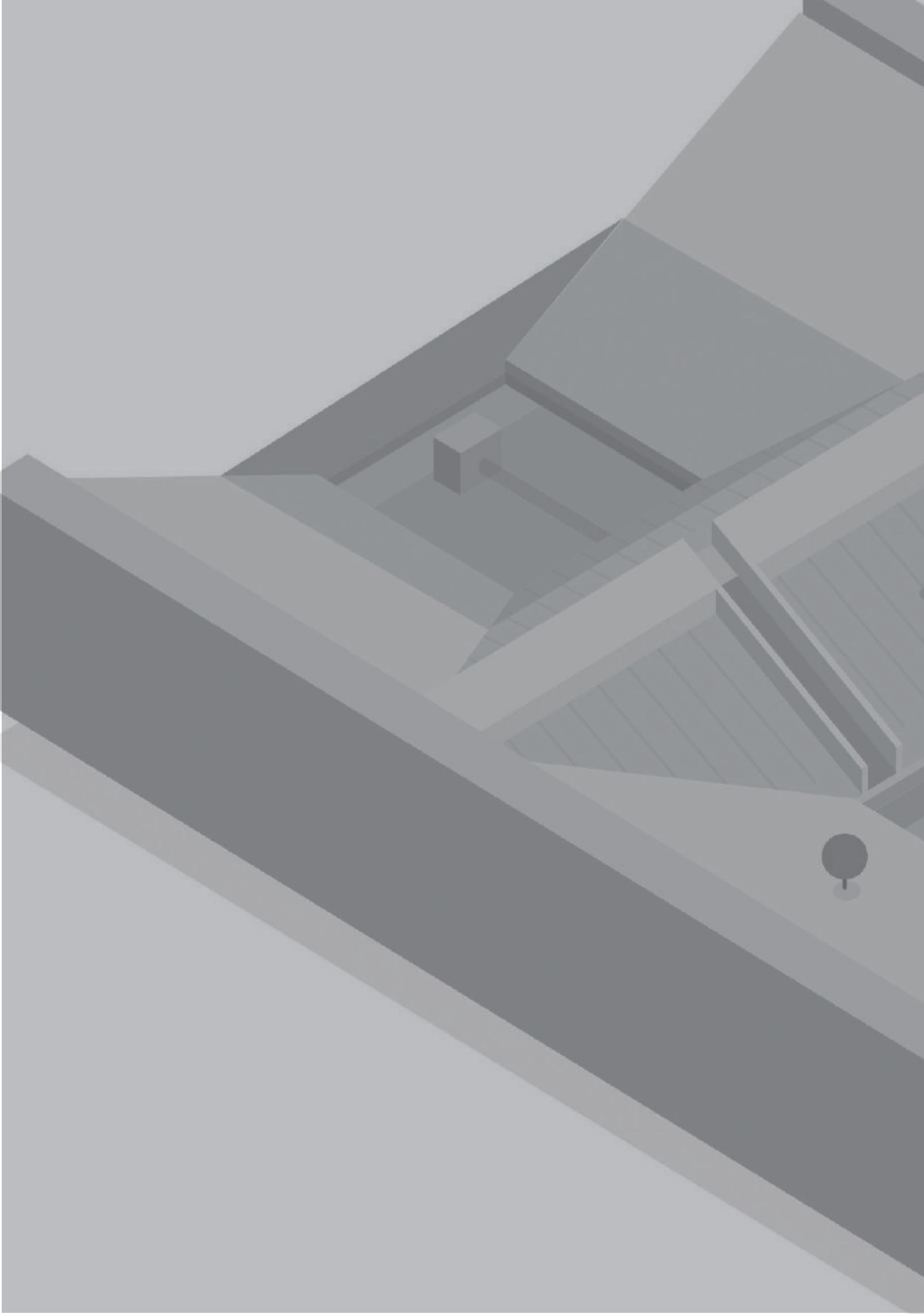
Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, bem como para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos, além de outras providências.

9.7 Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA)

O IBAMA é responsável pela fiscalização da segurança de barragens de resíduos industriais que possuam licença ambiental emitida pelo Instituto, conforme Lei nº 12.334/2010, além de tratar do licenciamento ambiental de grandes obras, da fiscalização de infrações administrativas contra o meio ambiente e do atendimento a emergências ambientais de competência federal. Atua de forma integrada com os órgãos estaduais e municipais de meio ambiente.

9.8 Acordo de Cooperação Técnica em Segurança de Barragens (ACT-SB) nº 31/2018

Em 2018, a ANA e a SEDEC realizaram o Acordo ACT-SB nº 31/2018, do qual passaram a participar outros atores relevantes no tema de segurança de barragens na esfera federal, a saber: a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Agência Nacional de Mineração (ANM) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA). 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 Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) (Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010) e da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012). O Acordo visa promover a articulação de ambas as políticas com o propósito maior de salvaguardar vidas humanas, bens materiais e o meio ambiente em situações relacionadas à segurança de barragens.





CAPÍTULO 10

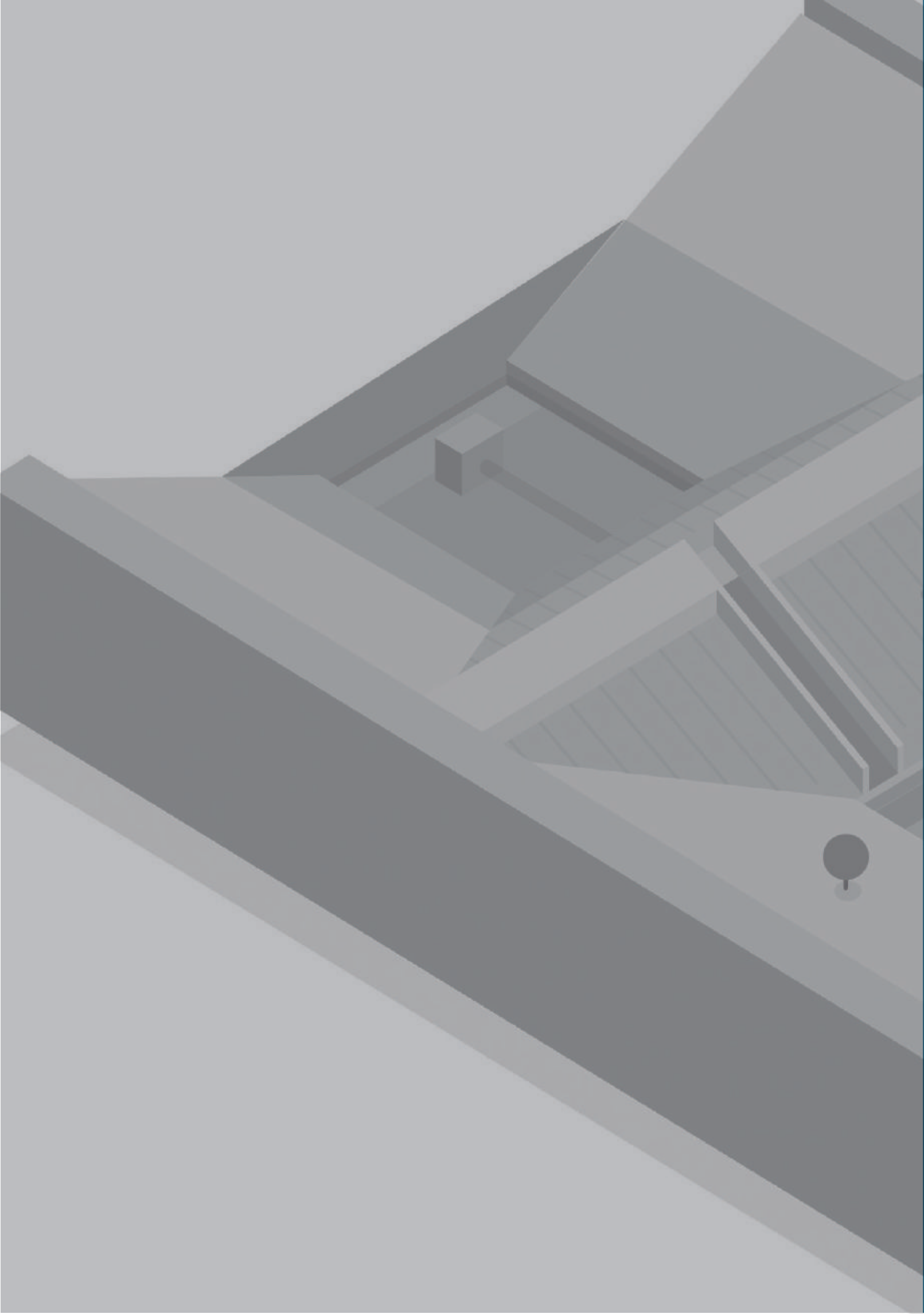
Distribuição geográfica de acidentes e incidentes relatados

Os acidentes e incidentes relatados neste livro, Parte B, têm a distribuição geográfica mostrada na Figura 1.62. A numeração dos casos é a mesma da **Tabela 1.8**. Constata-se a concentração de casos em determinadas regiões, como no Nordeste e no Sudeste, notadamente em Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.

A concentração de casos nas regiões apontadas reflete, aparentemente, além da maior densidade de barragens implantadas, a tempestividade no registro dos eventos, em virtude dos reflexos que os mesmos tiveram quando de sua ocorrência. Em contraposição, em regiões de baixa densidade populacional, eventos de menor amplitude tendem a passar despercebidos, a menos que afetem diretamente núcleos urbanos ou vetores de comunicação.



Figura 1.62 – Distribuição geográfica dos acidentes e incidentes relatados. A numeração dos casos é a mesma da tabela 1.8





CAPÍTULO 11

Considerações finais

Toda atividade humana está sujeita a erros sob as mais variadas alegações e motivações. E sempre estará. Barragens continuarão apresentando problemas, assim como aviões continuarão caindo, veículos colidindo, etc.. No caso das barragens, as fontes de erros podem ser compartimentadas em três setores: erros de concepção e projeto, erros construtivos e erros de gestão e operacionais. As causas dos acidentes e incidentes, entretanto, não se limitam a este conjunto de erros, uma vez que outros fatores independentes, às vezes imprevisíveis, contribuem para que os eventos continuem ocorrendo: cheias excepcionais, terremotos e tsunamis, escorregamentos em reservatórios, confrontos sociais e/ou bélicos.

Acidentes em barragens continuarão ocorrendo, também, porque grande parte delas continuará, apesar dos esforços de conscientização e fomento da cultura da segurança de barragens, sendo construída sem o devido respaldo técnico, ao sabor da vontade de agentes que ignoram os níveis de risco envolvidos em atividades aparentemente simples, como erguer um dique de terra de alguns metros de altura apenas utilizando um trator de esteira e os solos locais, disponíveis às margens do córrego.

Para acidentes de maior magnitude, o discurso é outro, visto que envolvem organizações governamentais e privadas que não estão alheias aos requisitos necessários para dotar de condições de segurança seus investimentos em barragens.

De forma extremamente simplificada, no que se refere ao empreendedorismo, o histórico de construção de barragens no Brasil pode ser dividido em três etapas, já abordadas anteriormente. Na primeira, que durou até a década de 50, a implantação de hidrelétricas era feita por empresas (em sua maioria) privadas. Na segunda etapa, que durou até o final dos anos 80, aproximadamente, a construção de barragens, principalmente na área de geração de energia, era predominantemente atribuição de empresas estatais.

A iniciativa privada se limitava a pequenos empreendimentos, via de regra, para suprir de energia as próprias necessidades, ou de água, as propriedades. A implantação de novos empreendimentos ocorria dentro de uma linha de planejamento regional com o propósito de atender à demanda de energia que o crescimento populacional e da economia impunham. Na área de armazenamento de água para abastecimento ou irrigação, cabia ao governo, nas esferas estadual ou federal, atender às necessidades regionais, frequentemente sob a pressão de períodos de estiagem prolongados. Em alguns casos houve necessidade de projetos arrojados para época que compreenderam empreendimentos com consideráveis esforços financeiros, mas que foram concretizados com a implantação de estruturas hidráulicas com as devidas condições de segurança e durabilidade e que procuraram promover condições básicas para o desenvolvimento econômico e social. Nesta segunda etapa, a incidência de acidentes em barragens de responsabilidade dos órgãos governamentais foi pequena, limitada a poucos casos bem conhecidos e, em sua maioria, documentados na literatura técnica.

O mesmo não podia se dizer de pequenas barragens que continuavam sendo erguidas sem o suporte técnico adequado e que acabavam revelando sua fragilidade com a chegada das chuvas, ocasionando a costumeira série de acidentes.

Cabe realçar que no setor elétrico, nessas duas primeiras etapas, a liderança nas empresas empreendedoras era exercida por engenheiros, embora com crescente influência de políticos em posições-chave.

A partir do começo dos anos 90, numa terceira etapa, a iniciativa privada passou a participar ativamente da geração de energia através de leilões que o governo promovia. A concorrência para atender a este novo mercado tornou os projetos de barragens mais enxutos, encurtando os prazos de execução das obras. Passou-se então a lidar, com frequência crescente, com condições de risco mais acentuadas em cada etapa de construção. Os principais riscos eram, como sempre foram, de natureza geológico-geotécnica e hidrológico-hidráulica.

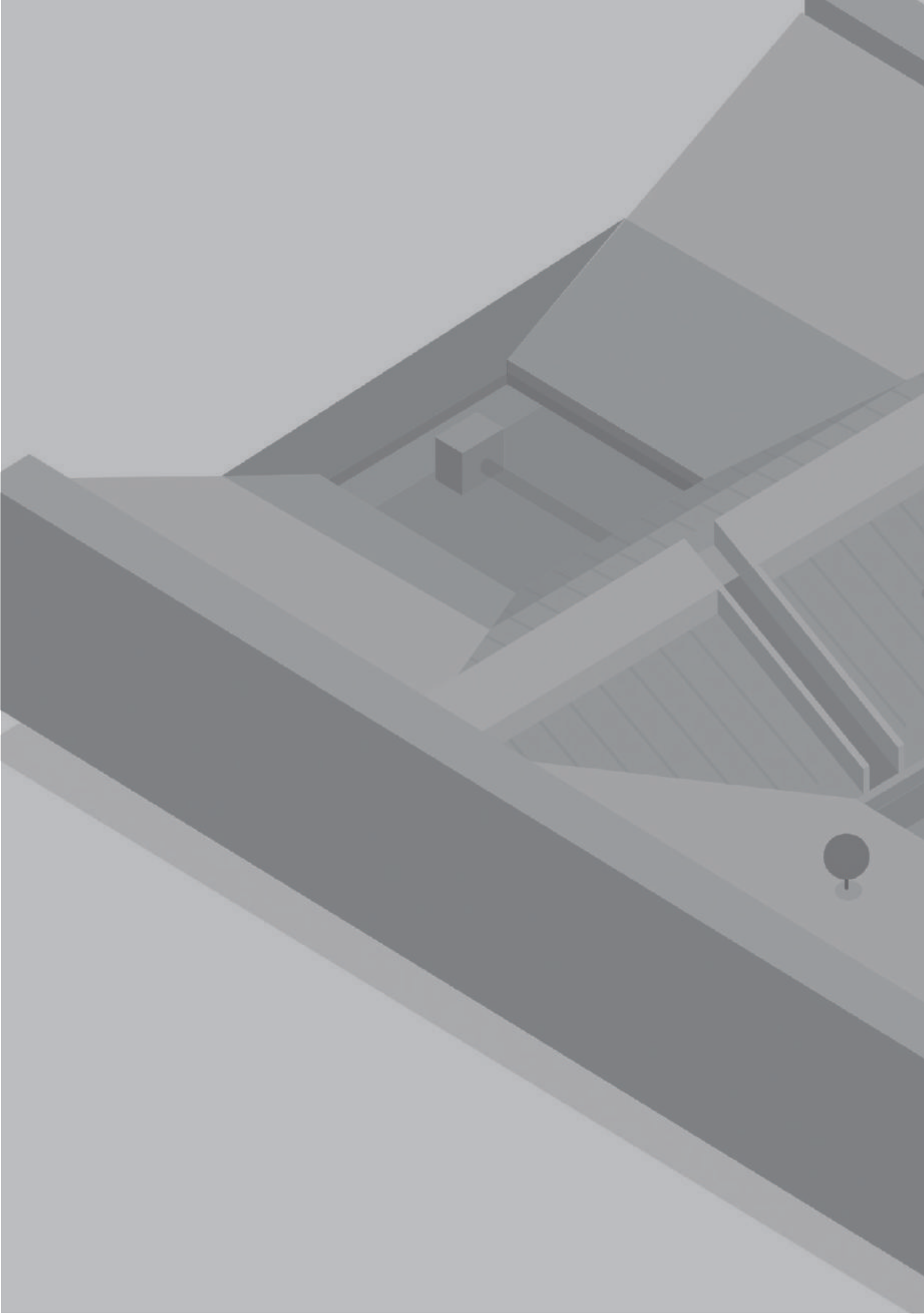
Importante destacar que até o governo Collor de Mello havia uma autarquia incumbida de planejar e executar obras de controle de cheias no território nacional: Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Esse Departamento foi extinto e não há mais órgão federal com incumbência direta de implementação de obras hidráulicas de porte para o controle de cheias, cuja incidência acarreta desastres de grandes proporções, com imensos impactos negativos ao meio ambiente e à economia social. Como esse tipo de obra é relacionado a bacias hidrográficas, obras para controlar cheias nos trechos inferiores dessas bacias têm que ser executadas nos trechos superiores e/ou médios. Ocorre, portanto, que municípios ou estados localizados a jusante não têm jurisdição em trechos de rios de outros estados e/ou municípios. Consequentemente, essa importante finalidade de implantação de barragens deve ser de âmbito federal, grande lacuna que (em 2021) já existe há duas décadas.

O registro de acidentes e incidentes que consta neste livro foi estruturado na forma de relatos individuais, cada qual agregando os aspectos técnicos disponibilizados pelas fontes consultadas. Assim, o conjunto de relatos ganha a categoria de um cadastro que pode ser corrigido e atualizado conforme novas informações venham a ser adquiridas. Mais do que isso: ele pode ser ampliado com a incorporação de novos relatos.

Trata-se de um procedimento que busca oferecer ao meio técnico condições de avaliar as circunstâncias em que os eventos registrados ocorreram, podendo servir de alerta para se precaver contra erros e situações de risco já assumidos no passado.

Neste sentido, os autores finalizam fazendo referência aos princípios da precaução e da prevenção, que devem balizar a tomada de decisões em todas as etapas de planejamento, projeto e implementação de qualquer empreendimento, válidas, portanto, para as barragens.

O princípio da precaução reza pela adoção, em todas as circunstâncias, de posturas capazes de evitar o surgimento de situações de risco. Ele incentiva a adoção de projetos, processos construtivos e procedimentos operacionais seguros, embora não evite que situações de risco surjam no decorrer dos trabalhos, em virtude do aparecimento de imprevistos geológicos, hidrológicos ou de outra natureza. Já o princípio da prevenção recomenda que, uma vez caracterizada a situação de risco, se proceda de modo que tal situação não se materialize, tomando-se medidas que vão desde o cancelamento de determinada atividade até a adoção de soluções seguras, capazes de neutralizar ou contornar a referida situação de risco.



CAPÍTULO 12

Material consultado

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – Geologia de Engenharia e Mecânica das Rochas no Brasil: a contribuição de Murillo Dondici Ruiz. São Paulo, 2017 - Ruptura das barragens de Euclides da Cunha e Limoeiro, no Rio Pardo, São Paulo. Pág. 92-95. A instabilidade do Morro dos Cabritos: uma solução indicada pela própria natureza. Pág. 110-113.

ABMS - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – Acidentes evidenciam importância de nova legislação. Revista. Ed. Nº 14. Março/2008. 3 páginas.

ABRAPCH – Associação Brasileira de PCHs E CGHs - ANEEL libera operação em teste de turbina da UHE Cachoeira Caldeirão – Internet - <http://www.abrapch.org.br/noticias/107/aneel-libera-operacao-em-teste-de-turbina-da-uhe-cachoeira-caldeirao>. Acesso em 19/01/2019.

AGENERSA - Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro - Processo nº E-12/003.110/2015. Assunto: OF. SEA/SE N.º 72/15 - Solicitação de comparecimento de representante da AGENERSA na reunião ordinária do Comitê de Bacia Hidrográfica Lagos São João. Data de autuação: 26/02/2015. Sessão regulatória: 16/07/2015. 13 páginas. Internet – <http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/relatorios/Sessao/s20150716/E120031102015.pdf>. Acesso em 05/01/2019. Sessão regulatória: 27/04/2017. 12 páginas. Internet - <http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/relatorios/Sessao/s20170427/E120031102015.pdf>. Acesso em 05/01/2019.

AGUIAR, D.P. O. – Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB. Dissertação de Mestrado. UNICAMP. 2014. 166 páginas.

ALMEIDA, J.H.– Caracterização e avaliação de imprevistos geológicos em obras de pequenas centrais hidrelétricas (PHCs). Dissertação de Mestrado. Ouro Preto, 2006. 167 páginas.

AMARAL, C.A. & PRADO, F.A. A. (Organizadores) – Pequenas centrais hidrelétricas no Estado de São Paulo. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2000.

AMORIM, E.F. – Acidente na barragem Engo. Armando Ribeiro Gonçalves, em Açu, RN. 2013. Pág. 115-126. Texto sem indicação de edição.

AMORIM, J.L.R. – Galgamento da barragem do Aipim. In: XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens. Fortaleza, CE. CBGB. 2001. Tema 4 - Pág. 621-624.

AMORIM, J.L.R. – Barragem Santa Helena. EMBASA S.A. – 60 páginas. Texto sem data e sem indicação de edição.

ANA – Agência Nacional de Águas – Atlas Nordeste – Abastecimento humano de água. 2006. 82 páginas.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – Relatórios de Segurança de Barragens, anos 2011 a 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, ANM - Agência Nacional de Mineração, IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais & SEDEC – Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – Atuação Conjunta em Segurança e Emergência em Barragens – Acordo de Cooperação Técnica em Segurança de Barragens (ACT-SB) – Relatório 2020. Brasília. 2021. 35 páginas.

ANDRADE, R.R. & LEONE JR., D. - Ação civil pública em desfavor da empresa Serra Grande Mineração Ltda. In: ANDRADE, R.R. de (Coord); OLIVEIRA, L. P. P. de & FRANCO, A. P. - Coletânea do Centro de Apoio Operacional de Defesa do Meio Ambiente, Patrimônio Cultural e Urbanismo. ESMP/GO, Goiânia, 2006, 252 p. Internet - http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/coletanea_cao_ambiente_2006.pdf. Acesso em: 03 jan. de 2018.

ANDRADE, W.S. – Acidente na PCH Apertadinho – Acidente da UHE Espora. ANEEL – SFG. Setembro/2016. 27 páginas.

ANDRIOLO, F.R. – Barragens contemporâneas: Conhecimento, Durabilidade, Riscos e Falhas. – Cenário Brasileiro. In: 3º Simpósio de Segurança de Barragens e Riscos Associados. CBGB, Salvador, BA. 2008. Tema IV – Fatores de Risco em Barragens. 38 páginas.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – Parecer Técnico nº 07/2019. Vistoria em barragem de mineração Vale S.A., Mina do Córrego do Feijão, Brumadinho/MG. Novembro/2019. 194 páginas.

ANTUNES, J.A., XAVIER, L.V., ALBERTONI, S.C., PEREIRA, R.F., CORREA, C. – “Performance and Concrete Face Repair at Campos Novos” – Hydropower & Dams – Issue 2, 2007.

ANTUNES, L.G.S. & OLIVEIRA, A.M.R. O. - Ruptura do dique de contenção de rejeitos de minério de ferro da cava C1 da Mineração Rio Verde Ltda – Nova Lima/MG. In: 2º Simpósio Nacional de Desastres Naturais e Tecnológicos. Santos, SP. ABGE. Anais- Dezembro/2007. CD-ROM – Trabalho 64.

ÁVILA, L.P., ANDRADE, W.P. & FONTOURA, J.T.F. – Reparos no concreto da Usina Hidrelétrica de Marimbondo. XV Seminário Nacional de Grandes Barragens. Rio de Janeiro, 1983. CBGB. Anais... Vol.1, Tema III, pág. 543-603.

BAIMA, S.K. O. & CAMPOS, J.N.B. – Classificação de risco de barragens por índices de risco – Um estudo de caso. Revista Geotecnia, n. 132, 2014. Pág. 151-174.

BALBI, D.A.F. – Metodologia para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens. Estudo de caso: barragem de Peti – MG. Dissertação de mestrado, UFMG. Belo Horizonte. 2008.

BARBOSA, N.P., MENDONÇA, A. & CARVALHO, L.H. – A construção da barragem Barra do Camará e seu acidente. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XXVI, Goiânia, 2005. T95 A14. 16 páginas.

BATISTA, J.M., SIMÕES, A. & CARNEIRO, M. – Desempenho hidráulico do vertedouro de superfície da barragem de Três Marias. XX Seminário Nacional de Grandes Barragens. CBGB, Curitiba. 1992. Vol. 1, Tema IV. Pág. 221-228.

BELL, P.W.W. – Porto Colômbia Project - Comments on Damage to Chute Blocks. British Columbia Hydro International, 1989

BEZERRA, I.M.S. – Entre rios e ruas: água, açude e tragédia em uma cidade do agreste potiguar (Santa Cruz, 10 de abril de 1981). Dissertação de mestrado. UFRGN, Natal, 2015. 164 páginas.

BITTAR, R.J. – Acidentes e incidentes em barragens de rejeitos: como prevenir ou atenuá-los? In: II Seminário de Gestão de Riscos e Segurança de Barragens de Rejeitos – SGBR. Belo Horizonte, Maio/2017. 15 páginas.

BRANCO, A. A. & RAHUAN, L.F. – Impacto no projeto e nas obras da UHE Baixo Iguaçu em decorrência da cheia extraordinária de junho de 2014. In: XXXI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte, Maio/2017. Anais... Rio de Janeiro, CBGB. 2017. T3 – A9. 15 páginas.

BRITO S.N.A. – Imprevistos geológicos em túneis de empreitada por preço global (“turn-key”). In: 1º Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas. CBGB, Poços de Caldas, 1998, p. 339-345.

BROBERG, L. & THORWID, M. – Evaluation of failure modes for concrete dams. Royal Institute of Technology (KTH), Suécia, 2015. 124 páginas. (Camará, pág. 41).

BROOKFIELD – PCH Passo do Meio - Apresentação em Power Point. 29 slides. Agosto de 2020.

BUDWEG, F.M.G. – Safety improvements taught by dam incidents and accidents in Brazil. In: 14º Congresso Internacional de Grandes Barragens. ICOLD/CBGB. 1982, Rio de Janeiro. Vol. 1, Q. 52, R. 73, p.1245-1262.

BUDWEG, F.M.G., MELLO, F.M., MASAYOSHI, J & FRANÇOLIN, L.C. - Rehabilitation of the Rasgão dam. In: 15º Congresso Internacional de Grandes Barragens. ICOLD. 1985, Lausanne. Vol. 4, Q. 59, R. 11, p.171-190.

BUSTAMANTE, L.A. C. & CERQUEIRA, G.A. - Projetos de lei modificadores da legislação sobre segurança de barragens apresentados após o colapso da barragem de Fundão em Mariana-MG. In: XXXI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte, Maio/2017. Anais... Rio de Janeiro, CBGB. 2017. T3 – A9. 19 páginas.

CÂMARA DOS DEPUTADOS – Proposta de Fiscalização e Controle nº 71, de 2009 - Propõe que a Comissão de Fiscalização Financeira e Controle realize ato de fiscalização sobre o rompimento da Barragem de Apertadinho, em Rondônia, e os recursos federais envolvidos na obra – Relatório Final. Brasília, 2010. 38 páginas. Disponibilizado na Internet.

CÂMARA DOS DEPUTADOS, CPI - 2019 - Relatório sobre o rompimento da barragem de Brumadinho, com 595 páginas.

CANTARINO, A.A. – Desafios na visão do Regulador – II Encontro Técnico sobre acidentes e incidentes em barragens. Brasília – ANEEL. Maio/2018. Power Point. 28 páginas.

CARDIA, R.J.R. – Emergência e gestão de risco em barragens. In: 2º Simpósio Nacional de Desastres Naturais e Tecnológicos. Santos, SP. ABGE. Anais...Dezembro/2007. CD-ROM – Trabalho 65.

CARVALHO, E. – O vertedouro de Porto Colômbia – Desempenho e recuperação da bacia de dissipação – Grandes Vertedouros Brasileiros – Comitê Brasileiro de Barragens, 2009.

CARVALHO, E. – Bacia hidrográfica do rio Pardo – Galgamento das barragens do rio Pardo. Sem referência de fonte de publicação. 2016. 22 páginas.

CARVALHO, E. bis – Segurança de barragens e avaliação de riscos. Relato Geral do Tema 113 – In: XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens. 2016. Foz do Iguaçu. CBGB. 79 páginas.

CARVALHO, E., FARIA, E.O., BASTOS, J.C.Q. & REBELLO, D.C. – Deslizamento da encosta no reservatório da Usina de Furnas: estudos hidráulicos experimentais. In: XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Aracaju, 1991. Anais... Rio de Janeiro, CBGB. 1991. Pág. 99-108.

CARVALHO, L.H. – A diversidade geológica nordestina com vistas às barragens. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 3. Ipanema, 1981. Anais... São Paulo: ABGE, 1981, v.1. p. 323-345.

CARVALHO, L.H. – Dewatering from a cut off trench in a deep pervious foundation - Armando Ribeiro Gonçalves Dam. In: Congresso Internacional de Grandes Barragens, XIV, Rio de Janeiro, 1982. Vol. 3, C.7, Pág. 1185-1195.

CARVALHO, L.H. – Jaburu Dam – Foundation improvement. In: Congresso Internacional de Grandes Barragens, XVII, Viena, 1991. Q 66, R 95. Pág. 1755-1764.

CARVALHO, L.H. – Incidente na fundação de uma barragem de terra, assente sobre arenito. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, 19. Aracaju, 1991. Anais... Rio de Janeiro, CBGB. 1991. p. 1-14.

CARVALHO, L.H. & TRINDADE, S.S.M. – Desempenho e recuperação da barragem Barreiras (Piauí). In: XI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Fortaleza, Novembro/1976. CBGB. Tema III, 29 páginas.

CARVALHO, L.H., GUEDES, J.A. & DE PAULA, J.R. – Açú: uma cortina impermeabilizante. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XIV, Recife, 1981. Tema II. Pág. 499-518.

CARVALHO, L.H. & ARAÚJO, M.Z.T. - Fundações aluvionares de barragens de terra no Nordeste brasileiro. In: VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Olinda/ Recife, Setembro/1982. ABMS. Pág. 429-444.

CBDB - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – Technical data about Itaúba Dam. In: Main Brazilian Dams – Design, Construction and Performance. Rio de Janeiro. 1982. Pág. 189-207.

CBDB - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – Açú dam and reservoir. In: Main Brazilian Dams. Design, Construction and Performance. Rio de Janeiro. 2000. Pág. 29-36.

CBDB - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – Orós dam and reservoir. In: Main Brazilian Dams. Design, Construction and Performance. Rio de Janeiro. 2000. Pág. 293-300.

CBDB - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – Large brazilian spillways. CBDB/ICOLD. 2002. 205 páginas.

CBDB – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens/ Coordenador, Supervisor, Flávio Miguez de Mello; Editor, Corrado Piasentin. Rio de Janeiro, CBDB, 2011. 524 páginas.

CBDB - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – Barragens de rejeitos no Brasil. Coord. Ávila, J.P. de. 2012. 310 páginas.

CELFS/A – Centrais Elétricas Fluminenses S.A. – A história da construção da Central Hidrelétrica de Macabu. 1972. 2 volumes. Inédito.

CEMIG – Centrais Elétricas de Minas Gerais – Usinas da CEMIG – A história da eletricidade em Minas e no Brasil – 1952-2005. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. 2006. 304 páginas.

Centro de Memória da Eletricidade no Brasil – A CERJ e a história da energia elétrica no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1993. 368 páginas

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – MCTI - Companhia Mercantil e Industrial Ingá deixa passivo ambiental à Baía de Sepetiba (RJ). 19/12/2012. 4 páginas. De: Internet – [www.http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/ExibeVerbete.aspx?verid=25](http://www.cetem.gov.br/verbetes/ExibeVerbete.aspx?verid=25)

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – MCTI – Apesar de ter uma das minas de ouro mais produtivas do Brasil, Crixás (GO) continua com baixo IDH. 20/07/2012. 2 páginas. De: Internet – [www.http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/ExibeVerbete.aspx?verid=25](http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/ExibeVerbete.aspx?verid=25)

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – MCTI – Rompimento de barragem da Mineração Rio Verde, em Nova Lima (MG) deixa mortos e destruição ambiental. 18/01/2016. 3 páginas. De: Internet - <http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/ExibeVerbete.aspx?verid=211>

CIAEA – Comissão Independente de Assessoramento Extraordinário de Apuração – Sumário executivo do relatório da investigação independente – Rompimento da barragem 1 da mina do Córrego do Feijão – Brumadinho, MG. Rio de Janeiro. Fevereiro/2010. 50 páginas.

CNM – Confederação Nacional de Municípios – Estudo Técnico – Diagnóstico de segurança das barragens brasileiras. Brasília. 2019. 29 páginas.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – Governo do Estado do Ceará – Termo de referência para elaboração do projeto executivo para recuperação do vertedouro da barragem Jaburu I – Município de Tianguá. Fortaleza. Julho/2018.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – Governo do Estado do Ceará – Relatórios Anuais de Segurança de Barragens – Riscos e Inspeções – 2006 a 2018.

COPPEDÊ JR. A., VIRGILI, J.C. & OJIMA, L.M. – O reparo do sistema de túneis da UHE de Sá Carvalho – Acesita, Timóteo, MG. Relatores: In: Santos, A.R. dos - Geologia de Engenharia – Conceitos, Método e Prática. ABGE, 2009. Pág. 81-84.

CORIOLOANO, P. - Le polygone des sechesses au Bresil et la ruptura du barrage d ´ Oros. Construction, Paris, v. 17, n.2, mars/1962, p.85-89.

COSTA, A.M., VIEIRA, E.C.F. & FUSARO, T.C. – Usina Hidrelétrica Rio de Pedras – Problemas decorrentes do assoreamento do reservatório. In: II Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Abril/2000. Canelas, RS. Pág. 49-61.

COTRIM, J.R.K. & GUIDICINI, G. – Relatório de inspeção ao sítio da barragem de Algodões I. Agosto/2008 (circulação restrita).

COULON, F.K. – Condicionante geológica em acidente no vertedouro de uma barragem. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 2. São Paulo, SP. ABGE, 1978. Vol. 2, pág. 197-207.

CREA-RS – Barragem Passo do Meio em São Francisco de Paula recebe fiscalização do CREA. 14 de agosto de 2020. Internet - <http://www.crea-rs.org.br/site/index.php?p=ver-noticia&id=6363>

CRUZ, J.F. – Reavaliação da segurança da barragem de terra da Usina Hidrelétrica do Piau. Dissertação de Mestrado. UFOP. Ouro Preto, MG. 2007. 165 páginas.

CRUZ, J.F., DIAS, G.G. & BALBI, D.A.F. – Monitoramento na prevenção de acidentes – Caso da UHE Piau. III Simpósio sobre instrumentação de barragens. São Paulo. Setembro/2006. 14 páginas.

CRUZ, P.T. – 100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto. Oficina de Textos. São Paulo. FAPESP. 1996. 648 páginas (Juturnaíba, p. 55-57).

CRUZ, P.T., BEZERRA, D.M. & GUIMARÃES, M.C.A.B. – Emprego de laterita na barragem de Pitinga. In: 6º Congresso ABGE/ IX COBRAMSEF. Salvador, BA. 1990. Anais... Vol. 1, Tema V. Pág. 465-476.

CRUZ, P.T., MATERÓN, B. & FREITAS, M. – Barragens de enrocamento com face de concreto. 2a edição. Oficina de Textos, 2014 (Campos Novos, p. 72-75).

DIVINO, P.L. – Comportamento de enrocamentos em barragens – Estudo de caso da barragem de Emborcação. Dissertação de Mestrado. UFOP – Ouro Preto. Outubro/2010. 226 páginas.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra as Secas - Barragens no Nordeste do Brasil. Fortaleza. 1982. ARAUJO, J.A. de A. (Coordenador) – 160 páginas. [Barragem Arrojado Lisboa (Ex-Banabuiu), pág. 77-79.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra as Secas - Barragens no Nordeste do Brasil. Fortaleza. 2a Edição. 1990. ARAUJO, J.A. de A. (Coordenador).

DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra as Secas - Barragens no Nordeste do Brasil. Fortaleza. 3a Edição. 2003. ARAUJO, M.Z.T. (Coordenadora) – 330 páginas.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra as Secas – Açude Araras – Barragem Paulo Sarasate – sem data - Internet <https://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20do%20Ceara/araras.htm>

DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra as Secas – Açude General Sampaio — sem data
- Internet https://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20do%20Ceara/general_sampaio.htm

DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra as Secas - Açude Banabuiú – Texto extraído da Internet - 2018. <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/barragens/banabuiu/banabuiu.htm>

Açude Cocorobó - Texto extraído da Internet – 2018 - <http://www.dnocs.gov.br/barragens/cocorobo/cocorobo.htm> -

DOMINGUES, N.R. & PAIS, F. – As obras de recuperação do Dique IV. In: XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte, 1985. CBGB. V.2, pág. 263-273.

Eletrobrás – Sistema de Banco de Imagens. Usinas de Energia Elétrica no Brasil 1883 – 1999. CD. 2000.

FACCHINETTI, R. – Riscos associados ao projeto e à construção de barragens. In: Comitê Brasileiro de Barragens. Simpósio de Segurança de Barragens e Riscos Associados, 3º. Salvador, BA. Novembro/2008. 49 páginas.

FCS BRASIL – Folha Centro Sul - Transposição do Rio São Francisco: barragem mal feita estoura e água se perde no sertão. Texto tirado da Internet - <http://folhacentrosul.com.br/geral/13256/transposicao-do-rio-sao-francisco-barragem-mal-feita-estoura-e-agua-se-perde-no-sertao> - Acesso em 03/11/2018.

FEAM-MG – Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais – Cadastro de minas paralisadas e abandonadas. 2016. Internet - http://www.feam.br/images/stories/2016/AREAS_DEGRADADAS/Lista_das_minas_-_Letras_H_a_M.pdf

FEAM-MG – Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais - Inventário de barragem do Estado de Minas Gerais. 2016. FEAM-DGER-GERIM-RT-02/2017. Belo Horizonte, Abril/2017. 47 páginas.

FERNANDES, S.L.C., PAULA, C.M., NICÁCIO, A.M. & FUSARO, T.C. – A importância da instrumentação no caso de carregamentos excepcionais aplicados a barragens. In: XXXI Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte. 2017. CBGB. T3-A1. 15 páginas.

FONTANELLE, A. S., SOUZA, V.A.D., OLIVEIRA, Y.C. & SALES, C.A.T. – Estabilização e melhoria da segurança de vertedouros de barragens do Estado do Ceará (Pacajus e Rosário). In: XXVII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belém, 2007. Anais...Rio de Janeiro: CBGB, 2007. T101-A05, p. 1-21.

FONTANELLE, A. S. – Proposta metodológica de aplicação de riscos em barragens do nordeste brasileiro – Estudo de caso: Barragens do Estado do Ceará. Tese de Doutorado. UFC, Fortaleza, CE. 2007. 213 páginas.

FRAGOSO JUNIOR, C.R., PEDROSA, V. A. & SOUZA, V.C.B. - Reflexões sobre a cheia de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e Paraíba. Universidade Federal de Alagoas. 20 páginas.

FRANÇA, P.C. T., PALMIERI, W.A., VAICIUNAS, C. FARIA, F.C. & BRAUN, P.V.C.B. – Ruptura de descarregador de fundo da barragem da Usina Izabel: recuperação do maciço de terra. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XX. Curitiba, 1992. Anais...Rio de Janeiro: CBGB, 1992. V. 1, p. 267-274.

GAIOTO, N. – Infiltrações na ombreira direita e na galeria de desvio da barragem de Paranoá – Interpretação e tratamentos. XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Recife. 1981. CBGB. V.1, Tema II, pág. 381-392.

GALO, D. B. – Acidente nas barragens de rejeitos da Herculano Mineração. 1º Encontro Técnico sobre Incidentes e Acidentes em Barragens – Lições Aprendidas. DNPM. Salvador, BA. Setembro/2016. 44 páginas.

GAMA, C.D., COSTA, ACCIOLY, J.C. W.D., WOLLE, C.M., GERALDO, A. HERMAN, R.M. & MELLO, L.G.F.S. - Histórico de acidentes de barragens. Construção Pesada, São Paulo, v. 14, n. 157. Ago-Set/1984. p. 20-28.

GOMES, A.J.L. - Barragem antiga de Itambacuri foi construída fora das normas de Engenharia. Internet - <https://www.youtube.com/watch?v=Ar7jdizUoCM> – Acesso em 20/04/2020

GONÇALVES, F.F. & BERNARDES, J.W.C. – Utilização de concreto rolado na modificação da geometria da calha do vertedouro da usina hidrelétrica de Três Marias. XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens. CBGB, Belo Horizonte. 1985. Vol. 1, Tema I. Pág. 217-242.

GONÇALVES, V.K. – O desastre de Cataguases: uma caricatura do risco. 58a Reunião Anual da SBPC – Florianópolis, julho/2006. Resumo. Uma página.

GRILLO, O. – Acidentes em barragens. Sanevia, Rio de Janeiro, nº 26, maio/1964. p. 84-92.

GUIDICINI, G. – Levantamento bibliográfico de Geotecnia e Engenharia Geotécnica no Brasil e sua indexação por palavras-chave. São Paulo. ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia / IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1976. 206 páginas.

GUIDICINI, G., MARTINS, S. & GOUVEIA, F. – Bibliografia brasileira sobre fundações de barragens e temas correlatos. ENGEVIX ENGENHARIA. Rio de Janeiro. 1994. 507 páginas.

GUIDICINI, G. & LOUSA, J. - Lições de um caso de escorregamento decorrente do enchimento de um reservatório. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 10º, Foz do Iguaçu, 1994. Anais... Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, vol.4, 1994. Pág. 1077-1084. In: Congresso da Associação Internacional de Geologia de Engenharia, 7º, Lisboa, 1994. Anais... Lisboa, IAEG, vol. 5, Tema 5, pág. 3853-3858.

GUIDICINI, G., TAJIMA, R. & CAPELLÃO, S.L. de F. - Memória da Hidroeletricidade: o caso de uma usina construída em área de talus. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8º. Rio de Janeiro, set/1996. Anais... Vol. 2, pág. 705-716. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo.

HAAK, L. & OLIVEIRA, F.A. - Construção da barragem e canal de derivação do rio Cubatão do norte no município de Joinville-SC. In: XII Sinageo. Crato, CE. 2018. Texto extraído da Internet - <http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/10/10-465-272.html>

HABERLEHNER, H. – Investigações geológico-geotécnicas para a barragem do Curua-Una. In: SIMPÓSIO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DA REGIÃO AMAZÔNICA. Brasília, 1980. Atas... São Paulo: ABGE/THEMAG, 1980. p.137-166.

HOLK, C.H. – Acidente em uma estrutura de concreto de barragem. Escola Politécnica da universidade do Brasil. ProEnergia. Palestra no Clube de Engenharia do Rio de Janeiro. Power Point. Setembro/2002. 27 figuras.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Novembro de 2015. Disponível em http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf -. Acesso em 25 de janeiro de 2017.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Rompimento da barragem de rejeito de Fundão - Mariana, Minas Gerais. Dezembro/ 2015. 42 páginas. Internet - Acessado em 28/12/2019 [http://www.doc_participante_evt_2953_1450096021420_k-comissao-permanente-cdh-20151214ext124_parte5688_resultado_1450096021420%20\(1\).pdf](http://www.doc_participante_evt_2953_1450096021420_k-comissao-permanente-cdh-20151214ext124_parte5688_resultado_1450096021420%20(1).pdf)

ICOLD – International Commission on Large Dams – Lessons from dam incidents - Orós Dam p. 68-70 - Furnas Dam p. 955. 1974.

ICOLD – International Commission on Large Dams – Deterioration of dams and reservoirs. 1983.

ICOLD - International Commission on Large Dams - Dam failures statistical analyses. Bulletin 99, 1995. 76 páginas.

ICOLD - International Commission on Large Dams – Tailing Dams – Risk of dangerous occurrences – Lessons learnt from practical experience. Bulletin 121. 2001. 144 páginas.

ICOLD – International Commission on Large Dams – Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations. – Bulletin 164 – Volume 2: Case histories, investigations, testing, remediation and surveillance. 2016. 199 páginas.

INFANTI JUNIOR, N. – Riscos geológicos em hidrelétricas. GH Consult. 2008. 37 páginas.

JONES, F.O. – Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras Escarpment, Brazil. Geological Survey Professional Paper 697. United States Department of the Interior, Washington, 1973. 49 páginas.

KANJI, M.A. - Parecer técnico sobre as causas da ruptura da barragem Camará. João Pessoa, nov. 2004. (Relatório Técnico). Disponível em: <http://www.prpb.mpf.mp.br/news/1docs/Camara/r1_parecer_tecnico_m_kanji_min_pub_PB.pdf>.

KANJI, M.A. – Lições aprendidas de acidentes em hidrelétricas. IBC. 2008. 33 páginas.

KANJI, M.A. – Obras em rocha – Influência da Geologia – USP – PEF 2507 – 2017. 126 páginas.
Internet - https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3424462/mod_resource/content

KOCHEN, R. – Riscos geológicos em empreendimentos hidrelétricos. GeoCompany, 2008. IBC Brasil. 100 páginas.

KUPERMAN, S.C. & MORETTI, M.R. – Lições aprendidas de acidentes e incidentes com barragens. In: XXXI Seminário Nacional de Grandes Barragens. SNGB. Belo Horizonte, MG. Maio/2017. T3. 63 páginas.

KUPERMAN, S.C. – Acidentes e incidentes com barragens - Lições aprendidas. II Encontro Técnico sobre Incidentes e Acidentes em Barragens. São Paulo. Maio/2018. Power Point com 39 quadros.

LEITE, A.D. - A energia do Brasil - Editora Nova fronteira - Rio de Janeiro, 1997.

LEPECKI, J., LIRA, F.H. & HABERLEHNER H. – The Curuá-Una Hydroelectric Development. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 10. Montreal, 1970. Anais... Paris, ICOLD, 1970. Vol. 2, p. 957-966.

LINDOLFO, N.S. - O impacto ambiental decorrente do processo industrial na área e nos arredores da Companhia Mercantil e Industrial Ingá- Bairro da ilha da Madeira (município de Itaguaí, RJ). Khóra, Revista Transdisciplinar, v. 2, n. 2, maio/2015 ISSN: 2358-9159. 25 páginas.

LYRA, F.H. & MACGREGOR, W. – Furnas hydro-electric scheme, Brazil: closure of diversion tunnels. Anais do The Institution of Civil Engineers, Londres. Vol. 36, p.20-46, janeiro/1967.

LYRA, F.H. – Furnas: Aproveitamento hidrelétrico e acidentes nos túneis de desvio. Revista Brasileira de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, nº 15, jan-mar/1971 p. 33-49.

MACIEL FILHO, C.L. – Estudo do processo geoquímico de obstrução de filtros de barragens. Tese de Doutorado. USP. São Paulo. 1982. 151 páginas.

MAGNA/THEMAG – Reservatório Jati – Apresentação. 2020. 6 páginas.

MASSAD, E., MASSAD, F. & TEIXEIRA, H.R. – Comportamento da barragem do Saracuruna decorridos cinco anos após as correções de vazamento pelas ombreiras. In: 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Rio de Janeiro, setembro/1978. ABMS. Anais... Vol. 1, pág. 145-164.

MEDEIROS, C.H. – Lei de segurança de barragens e avaliações de risco - Segurança de barragens – Palestra. In: XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens. Recife, agosto/1981. CBGB. Vol. IV, pág. 343-375.

MEDEIROS, C.H. – Fatores de risco em barragens: técnicos e organizacionais. In: 3º Simpósio de Segurança de Barragens e Riscos Associados. CBGB, Salvador, BA. 2008. Tema IV – Fatores de Risco em Barragens. 89 páginas.

MEDEIROS, C.H. – Que fazer para mitigar os riscos de acidentes em barragens? In: 15º Congresso Brasileiro da ABMS, 2010, p. 455-463.

MEDEIROS, C.H. – Lei de segurança de barragens e avaliação de riscos – Painel – In: XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens, Foz do Iguaçu, PR. 2015. Tema 113. 41 páginas.

MEDEIROS, C.H. – A tragédia de Alagoas e a ação voluntária da ABGE e ABMS. 2015. Texto extraído da Internet – <http://www.cbdb.org.br/documentos/news/15/CHMARTIGO.doc>

MEDEIROS, C.H. – A lei de segurança de barragens no Brasil – Dia Mundial da Água. Mesa 3 – Segurança de Barragens. ANA – Agência Nacional de Águas. CBGB - Comitê Brasileiro de Barragens. Brasília, Março/2016. 44 páginas.

MEDEIROS, C.H. & AMORIM, J.L. – Acompanhamento do comportamento da nova barragem Santa Helena – Análise e interpretação da instrumentação de auscultação instalada: um estudo de caso. In: XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Salvador, 2003. CBGB, Tema 92 – A20. 13 páginas.

MELLO, F.M. – O Aproveitamento Hidrelétrico de Porto Colômbia – Construção Pesada, 1973.

MELLO, F.M. – A century of dam construction in Brazil – Topmost dams of Brazil – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – Rio de Janeiro, 1978.

MELLO, F.M. – Acidentes em barragens. XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens. Recife. CBGB. 1981. Vol. IV, pág. 343-375.

MELLO, F.M. – Recuperação de barragens e reservatórios – Aspectos físicos e ambientais. In: XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte, MG. Novembro/1985. CBGB. Vol. II. Tema II. Páginas 155-223.

MELLO, F.M. – Accidents in the Furnas diversion tunnels. In: Diversion of large brazilian rivers. CBDB. Rio de Janeiro, RJ. 2009. Pág. 65-70.

MELLO, F.M. – As barragens construídas pelo DNOCS – A história das barragens no Brasil – Comitê Brasileiro de Barragens, Rio de Janeiro, 2011. Pág. 76-87.

MELLO, F.M. – Um século de obras contra as secas – A história das barragens no Brasil – Comitê Brasileiro de Barragens, Rio de Janeiro, 2011. Pág. 66-75.

MELLO, F.M. - Síntese do desenvolvimento da implantação de barragens no Brasil - A história das barragens no Brasil - Comitê Brasileiro de Barragens - Rio de Janeiro, 2011.

MELLO, F.M. - A Light no Rio de Janeiro, a cidade luz sul-americana – A história das barragens no Brasil – Comitê Brasileiro de Barragens, 2011 – Rio de Janeiro. Pág. 130-141.

MELLO, F.M. – Tipos de acidentes e incidentes em barragens. In: 1º Encontro Técnico sobre Incidentes e Acidentes em Barragens – Lições Aprendidas. DNPM. Salvador, BA. Setembro/2016. 118 páginas.

MELLO, F.M. bis – A ocorrência de inseguranças que possam causar colapsos de barragens e de suas estruturas anexas – X Simpósio sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas – Comitê Brasileiro de Barragens, Florianópolis, 2016.

MELLO, F.M. & LYRA, F.H. - O desenvolvimento hidroelétrico do Brasil - XIV Convenção da UPAID - Buenos Aires, 1976.

MELLO, F.M., BUDWEG, F.M.G., FRANÇOLIN, L.C. & GOTO, J.M. – Reativação da Usina Hidrelétrica de Rasgão. In: Hidro90-Small/Medium. São Paulo, 1990. Anais... São Paulo. CESP/ELETPAULO/PCFL/HRC, 1990. Pág. 249-260.

MELLO, F.M. & ÁVILA, J.P. – Brazilian National Committee on Large Dams. General Paper. Congresso Internacional de Grandes Barragens, XV, Lausanne. 1985. Volume II. Pág. 941-958.

MELLO, V.F.B. – Acidentes em barragens. In: congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 3. Belo Horizonte, 1966. Anais...São Paulo: ABMS, 1966. V. 1. 20 p.

MELLO, V.F.B. – Da importância de resgatar o passado, no caso de incidentes em barragens: o exemplo de Santa Branca. In: XXII Seminário Nacional de Grandes Barragens, São Paulo, SP. Abril/1997. Tema 3. Páginas 229-245.

MELLO, F. & PIRES, M.T. – A origem do tsunami que varreu o Nordeste. 2010. Texto extraído da Internet - <https://veja.abril.com.br/brasil/a-origem-do-tsunami-que-varreu-o-nordeste/>.

MENESCAL, R.A. & DI MAURO, C.A. – Panorama da segurança de barragens no Brasil. Sem data. Power Point, 21 slides.

MENESCAL, R.A. (Organizador) – A segurança de barragens e a gestão de recursos hídricos no Brasil. Ministério da Integração Nacional. Brasília 2005. 2a Edição. 316 páginas.

MENESCAL, R.A. – Risco e segurança em engenharia – problemas enfrentados pelo MI com obras de infraestrutura hídrica. Instituto de Engenharia de São Paulo. Março/2007. 34 páginas.

MENESCAL, R.A., OLIVEIRA, S.K.F. de FONTANELLE, A.S. & VIEIRA, V.P.P.B. – Acidentes e Incidentes em barragens no Estado do Ceará. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XXIV. 2001. Página 55-76.

MENEZES, D.S.A.B. - Classificação dos danos decorrentes da ruptura de barragens de acumulação de água. Estudo de caso: barragem de Santa Helena – BA. Dissertação de Mestrado. Universidade da Bahia. Escola Politécnica. Salvador. 2016. 160 páginas.

MILANEZ, B. & LOSEKANN, C. – Desastre no vale do rio Doce – Antecedentes, impactos e ações sobre a destruição. Ed. Folio. 2016. 222 páginas.

MIRANDA, A.N. - Relato Geral – Barragens do semi-árido. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, VIII. Olinda/Recife, 1982. Vol. VII, pag. 287-310.

MIRANDA, A.N., MENESCAL, R.A., PERINI, D.S. & SOARES, F.R. – Barragem Joana – Uma intervenção emergencial de segurança. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XXVI, Goiânia, 2005. T95 A08. 12 páginas.

MIRANDA, A.N., MALVEIRA, V. & JARDIM, W.F. – Correção de trincas transversais na barragem Piau. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XXVIII, Rio de Janeiro, 2011. T103 A04 Power Point. 23 páginas.

MOLINA, H.T., NUNES, A.J.C. & GUSSO, L.G. – Desempenho das ancoragens de reforço da barragem do Anel de Dom Marco. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XI. Fortaleza, 1976. Anais... Rio de Janeiro: CBGB, 1976. v.2 13 p.

MORGENSTERN, N.R., VICK, S.G., VIOTTI, C.S. & WATTS, B.D. – Fundão Tailings Dam Review Panel – Report on the Immediate Causes of the Failure of the Fundão Dam, 88 p. em <fundaoinvestigation.com/wpcontent/uploads/general/PR/en/FinalReport.pdf>. Apêndices A até K e Relatório de Sismologia totalizando milhares de páginas. Há, ainda, um Filme explicativo com duração de cerca de cinco minutos.

MORTATI, D.M.A.N. - A implantação da hidreletricidade e o processo de ocupação do território no interior paulista (1890-1930). Tese de Doutorado. Campinas. UEC. 2013. 383 páginas. SC – Ministério Público de Santa Catarina – Pedido de adoção de medida cautelar – 06/10/2017. 9 páginas. Internet – Acesso em 13/04/2019. https://pt.slideshare.net/Ministerio_Publico_Santa_Catarina/ao-cautelar-pch-rudolf

NAKAO, H., ISHII, N.T. & ARAYA, J.A.M. – Registro de alguns casos de incidentes com enseadeiras. In: XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Aracaju, SE. CBGB. 1991. Anais...Tema I. Pág. 27 - 33.

NEGRINI, M.A., SARDINHA, V.L.A. & FERREIRA, W.V.F. – Incidente com a barragem do Engordador e uma proposta de sistematizar as ações de emergência. In: XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte, MG. 1999. Vol. 1, pag. 117 – 121.

NIEBLE, C.M. - Riscos geológico-geotécnicos na construção de hidrelétricas – Os casos de Camará, Itapebi e usinas do Sul do Brasil – V Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da região Sul. Porto Alegre, 2006, p. 111-115.

NIEBLE, C. M. – Causas dos acidentes devidos às condições geológicas – Por uma volta ao passado. In: Congresso Brasileiro da ABGE, 12, 2008. Mesa redonda 1: Acidentes em obras. 22 páginas.

NIEBLE, C.M., MELLO, L.G. de & KANJI, M.A. – Relatório de diagnóstico do sinistro da PCH Apertadinho. 2008. 108 páginas. Internet.

O POVO ON LINE – Cerca de 2 mil pessoas são evacuadas de Jati após rompimento de tubulação na barragem do município. 22/08/2020. Internet - <https://www.opovo.com.br/noticias/ceara/2020/08/22/cerca-de-2-mil-pessoas-sao-evacuadas-de-jati-apos-rompimento-de-tubulacao-na-barragem-do-municipio.html#gallery-9>

O POVO ON LINE – Governo federal irá reconhecer estado de emergência em Jati. Internet - <https://www.opovo.com.br/noticias/ceara/2020/08/23/governo-federal-ira-reconhecer-estado-de-emergencia-em-jati.html>

OLIVEIRA, D.G., BRANDT, J.R.T. & LEÃO, M.F. – Instrumentação geotécnica em obras subterrâneas. In: Rev. Fundações & Obras geotécnicas. Maio/2016. Pág. 76-83.

OLIVEIRA, J.R.O. – Contribuição para a verificação e controle da segurança de pequenas barragens de terra. Dissertação de mestrado. UFOP – Ouro Preto, 2008. 284 páginas.

OLIVEIRA, J.R.S. – Modelagem da expansão do concreto devido à RAA com decaimento do módulo de elasticidade. Dissertação de Mestrado. UFP. Curitiba, 2013. 88 páginas.

OLIVEIRA, A.R., MELLIOS, G.A. & CARDIA, R.J.R. – Erosion on the left wrap-around of José Ermírio de Moraes dam. In: International Congress on Large Dams, 15. Lausanne, 1985. Anais... Paris: ICOLD, 1985. V.4, pág. 73-92.

OLIVEIRA, N.C.C. - A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil. UFMG. Várias Histórias, vol. 34, núm. 65, 2018. 21 páginas.

OLIVEIRA, P.H.A. - Problemas hidrogeológicos em barragens envolvendo o mecanismo de retroerosão tubular. Bacharelado em Geologia. UFRJ. 2012. 74 páginas.

OLSON, S. M. & STARK, T. D., 2003 - Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength Using the Cone Penetration Test. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol, 129 No. 8, páginas 727-737, ASCE.

ORTIGÃO, A. – Ruptura da barragem Fundão – Lições aprendidas. Sem data e sem referência a publicação. 24 páginas.

PARRA, P.C. – Previsão e análise do comportamento tensão-deformação da barragem de Emborcação. In: XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte, MG. CBGB. 1985. Anais... Vol. II, Tema IV. Pág. 345-378.

PARRA, P.C. & LASMAR, N.T. – Ruptura da barragem de rejeitos da Mina do Fernandinho. In: Simpósio sobre barragens de rejeitos e disposição de resíduos industriais e de mineração. Rio de Janeiro, 1987. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/CE, 1987. V.1. p. 445-464.

PARRA, P.C. & RAMOS, J.V. – Ruptura, recuperação e estabilização da barragem de rejeitos da Mina do Pico São Luiz. In: Simpósio sobre barragens de rejeitos e disposição de resíduos industriais e de mineração. Rio de Janeiro, 1987. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/CE, 1987. V.1. p. 445-462.

PASTORE, E.L. – Maciços de solos saprolíticos como fundação de barragens de concreto gravidade. Tese de Doutorado. USP/Escola de Engenharia de São Carlos. 1992.

PASTORE, E.L. – Fundação de barragens em arenitos. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Salvador, BA. ABMS. 2018. Power Point, 109 slides.

PASTORE, E.L., CRUZ, P.T. & FREITAS JR., M.S. – Fundações de barragens e estruturas em arenitos: natureza dos maciços e controle do fluxo e erosões. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XXX, Foz do Iguaçu, 2015. Tema 111. 99 imagens sequenciais.

PASTORE, E.L., CRUZ, P.T. & FREITAS JR., M.S. – Fundações de barragens e estruturas em arenitos: natureza dos maciços e controle do fluxo e erosões. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XXX, Foz do Iguaçu, 2015. Tema 111. 15 páginas.

PEREIRA, G.M. – Acidentes e rupturas de barragens. ABGE. São Paulo. 2020. 307 páginas.

PEREIRA, M.B. – Roturas em diques de terra. Sanevia, Rio de Janeiro, n.3, jul/1947, p. 45-48.

PESSOA, J.C.C.P. – Acidentes em barragens. Sanevia, Rio de Janeiro, nº 26, maio/1964. p. 93-101.

PESSOA, J.C.C.P. – Problemas geométricos da seção transversal de uma barragem de terra do tipo zoneada e métodos construtivos não convencionais. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XVII. Brasília, 1987. Anais... Rio de Janeiro, CBGB, 1987. Pág. 77-88.

PIERRE, L.F., ÁVILA, J.P., BICUDO, R.I. & SILVA, R.S. – Curuá-Una Dam. Main Brazilian Dams – Design, Construction and Performance. Rio de Janeiro, CBGB. 1982. Pág. 637-653.

PINTO, L.M.O.P. & BARROS, A.M.A.B. - O investimento industrial como alternativa para a recuperação de passivos ambientais: o caso Ingá. In: III CNEG – Niterói, RJ, Brasil, agosto de 2006. 20 páginas.

PIRES, J.V., OLIVEIRA FILHO, J.E. & BELLO JUNIOR, N. – Acidente e recuperação da usina de Emas Novas no rio Mogi-Guaçu. In: 1º Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas. CBGB, Poços de Caldas, 1998, p. 415-423.

PIRETE, W., 2010 - Estudo do potencial de liquefação estática de uma barragem de rejeito alteada para montante aplicando a metodologia de Olson (2001), Tese de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, 141 páginas.

POLÍCIA FEDERAL – Laudo 994/2016-SETEC/SR/PF/MG. Perícia Criminal. 2016. 538 páginas (sobre Fundação).

PORTAL DO LITORAL PB - Tubulação de barragem da Transposição do Rio São Francisco rompe no Ceará e população foge após alerta. 22/08/2020. Internet - <http://www.portaldolitoralpb.com.br/tubulacao-de-barragem-da-transposicao-do-rio-sao-francisco-rompe-no-ceara-e-populacao-foge-apos-alerta/>

PORTALODIA – DNOCS realiza reparos na parede do açude Joana em Pedro II - Internet - <https://www.portalodia.com/municipios/pedro-ii/dnocs-realiza-reparos-na-parede-do-acude-joana-em-pedro-ii-260595.html> - acesso em 30/11/2018.

PRADO JR., F.A.A. & Amaral, C.A. – Pequenas centrais hidrelétricas no Estado de São Paulo – Governo de São Paulo, 2000.

QUEIROZ, P.R.C. – A construção do açude Lima Campos, Icó – CE: trabalho, técnica e natureza. In: III Seminário Nacional de História e Contemporaneidade. URCA – Crato (CE) Março/2018. 9 páginas.

REGAN, P.J. – Dams & Civil Structures: An examination of dam failures vs. age of dams. Hydro Review, N.4, Vol. 29. 2009.

REMY, J.P.P. – Lições aprendidas por um especialista em engenharia geotécnica na prática do monitoramento do desempenho e da avaliação da segurança de barragens. In: XXXI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte. Anais...CBDB. 2017. 20 páginas.

RESENDE, F.D., ALBERTONI, S.C., MORAES, R.B. & PEREIRA, R.F. – AHE Itapebi – Tratamentos especiais das fundações. In: XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Salvador, 2003. CBGB, Tema 92 – A33. 18 páginas.

REZENDE, V.A. – Estudo de comportamento de barragem de rejeito alteada por montante. Dissertação de Mestrado. UFOP, Ouro preto, MG. 2013. 181 páginas.

RIBEIRO, F.A. – Mapeando os sentidos: a história do rio Vermelho contada pelos ribeirinhos de Crixás – GO. Dissertação de Mestrado. Centro Universitário de Anápolis. 2018. 77 páginas.

ROBERTSON, P. K., 2010 - “Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength using the Cone Penetration Test”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, Volume 136, Número 6, páginas 842 a 853.

ROBERTSON, P. K., MELO, L., WILLIAMS, D. J. & WILSON. G. W. - 2019 – “Report of the Expert Panel on the Technical Causes of Failure of Feijão Dam I” com 81 páginas e Apêndices A até J, totalizando milhares de páginas, disponível no site da Vale.

ROCHA, F.F. – Retroanálise da ruptura da barragem São Francisco – Miraí, Minas Gerais, Brasil. Belo Horizonte. UFMG. Dissertação de Mestrado. 2015. 174 páginas.

ROCHA, F.F. – Cenários de formação e evolução de rupturas em barragens de rejeitos (dam break). In: Seminário de Emergência Ambiental. Outubro/2016. 76 páginas.

RODRIGUES, L.J.P. & PEREIRA, G.M. – Erosões a jusante de estruturas hidráulicas – Notas sobre o desempenho de alguns vertedores da Companhia Energética de São Paulo. XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens, Aracaju, 1991. CBGB, pág. 203-213.

ROTTMANN, M.R.C. – Erosões a montante e jusante da barragem de Bom Retiro, RS. XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens, Aracaju. 1991. Vol. 2, pág. 131-141.

RUIZ, M.D., CAMARGO, F.P., SOARES, L., ABREU, A.C.S., MASSAD, F. & TEIXEIRA, H.R. – Estudos e correção de vazamentos e infiltrações pelas ombreiras e fundações da barragem de Saracuruna (RJ). In: XI Seminário Nacional de Grandes Barragens, Fortaleza, 1976. CBGB, tema 3, T-3, 27 páginas.

RUIZ, M.D., CAMARGO, F.P., SOARES, L., ABREU, A.C.S., PINTO, C.S., MASSAD, F. & TEIXEIRA, H.R. – Studies and correlation of seepage through the abutments and foundation of Saracuruna Dam (Rio de Janeiro/Brasil). In: International Congress on Large Dams, 12. Mexico, 1976. Anais...Paris: ICOLD, 1976. V. 2, p. 805-827 (Publicação IPT nº 1065).

SAMPAIO, M.V.N. – Segurança de barragens de terra: um relato da experiência do Piauí. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. Dissertação de Mestrado. 2014. 78 páginas.

SANDRONI, S.S. – Aspectos geotécnicos de uma ruptura de maciço de barragem durante a construção. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 8. Porto Alegre, 1986. Anais... São Paulo: ABMS. V.4. p. 225-234.

SANDRONI, S.S. – Barragem Santa Helena. Power Point. 72 figuras. Inédito. Comunicação pessoal.

SANDRONI, S.S. – Barragens de terra e enrocamento. PUC-RJ CIV 2518. Inédito. 2017. 686 páginas.

SANTOS, C.F.R. & DOMINGUES, N.R. – Estudos e projetos de recuperação da barragem de Santa Branca. In: XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Aracaju, 1991. Tema 2. Pág. 57-70.

SAXENA, K.R. & SHARMA, V.M. – Dams Incidents and accidents. Balkema. 2005. 228 páginas.

SECCO, G.R. – Usina do Corumbataí – Memória da Indústria de Energia em São Paulo. Fundação Energia e Saneamento. SP. Sem data. 13 páginas.

SIQUEIRA, G.Q. – As lições do Pardo. In: XII Seminário Nacional de Grandes Barragens. São Paulo, 1978. CBGB. Tema 3. Vol. 2, p. 137-170.

SAYÃO, A. – Acidentes barragens no Brasil. Clube de Engenharia do Rio de Janeiro. Outubro/2017. 36 páginas.

SILVA, C.H.C., FILHO, J.F.S., BARBOSA, P.S.A. & LIMA, D.C. – Reconstrução, reforço e monitoramento de pequenas barragens de terra: o caso das barragens da Florestal Cataguazes. III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens. São Paulo. CBGB. Setembro/2006. 11 páginas.

SILVA, E.T.G. – Barragens hidrelétricas e desastres: uma avaliação de metodologias de gestão de risco ambiental. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Brasília. 2012. 110 páginas.

SILVA, M.B.F.A. & SILVA FILHO, F.C. – Avaliação de segurança em barragem por inspeção visual: estudo de múltiplos casos no Estado do Ceará. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 34, n. 1 e 2, pág. 33-45. 2013.

SILVA FILHO, B.C., COULON, F.K. & MOLINA, H.T. – Estudos geológico-geotécnicos na barragem do Anel de Dom Marco. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 3. Itapema, 1981. Anais... São Paulo: ABGE, 1981. v.3. p. 303-335.

SILVA NETO, A., SILVA, S.B.R.S. & SILVA, M.G.B. – Relato de uma corrida de detritos e das obras de recuperação das áreas por ela afetadas. In: COBRAE, 2005.

SILVEIRA, J.F.A. – Ruptura de barragens de terra-enrocamento. SBB Engenharia. Sem data.

SILVEIRA, J.F.A. – Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragens. Relato Geral. XII Seminário Nacional de Grandes Barragens. São Paulo. 1997. Tema III, Vol. 2, pág. 54-103.

SILVEIRA, J.F.A. – Tipos de acidentes e incidentes com barragens. In: 1º Encontro Técnico sobre Incidentes e Acidentes em Barragens – Lições Aprendidas. DNPM. Salvador, BA. Setembro/2016. 56 páginas.

SILVEIRA, J.F.A., DEGASPARE, J.C. & CAVALCANTI, A.J.C.T. – Problemas decorrentes da reatividade alcali-agregado na Usina Hidrelétrica Apolônio Sales – (Moxotó). In: XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte. 1985. Anais. Rio de Janeiro, CBGB, Vol. 1, pág. 429-462.

SILVEIRA, J.F.A., MANTESE, A.C. & MELEGARI, L.F.P. – Experiência na operação de limpeza de drenos de fundação em três barragens em CCR. In: XXXI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte. 2017. T-4-A-14. 19 páginas.

SILVEIRA, W.N., KOBIYAMA, M., GOERL, R.F. & BRANDENBURG, B. – História das inundações em Joinville – 1851-2008. Curitiba. Ed. Organic Trading. 2009. 153 páginas.

SIQUEIRA, G.Q. – As lições do Pardo. In: XII Seminário Nacional de Grandes Barragens. São Paulo, SP. CBGB. 1978. Tema III. 18 páginas.

SRH/CE – Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - Atlas eletrônico dos recursos hídricos do Ceará – Arneiroz II – Texto extraído da Internet - <http://atlas.srh.ce.gov.br/infra->

estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd_acude=68&status=1. Acesso em 18/11/2018 – Itaúna – Texto extraído da Internet - http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd_acude=96&status=1. Acesso em 24/11/2018.

SOARES, L. – Barragem de rejeito. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Capítulo 19 – pág. 831–896. Editores: Luz, A.B. da, Sampaio, J.A. & França, S.C.A. – CETEM/COPM. 2010.

SOUSA, L.N. – Avaliação do comportamento da fundação de barragem em rocha arenítica: estudo de caso da barragem Jaburu I. Dissertação de Mestrado. UFC. Fortaleza. 2013. 79 páginas.

SOUZA, J.A. – Recuperação da segurança hidráulica de extravasores de soleira livre. In: VI Simpósio sobre Segurança de Barragens e Riscos Associados. Maceió, AL. CBDB. Novembro/2018. Apresentação em 48 slides.

SOUZA, R.J.B. & SOUZA, J.A. – Reparos a jusante do sistema extravasor de Moxotó – In: XX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Curitiba, PR. 1992. CBGB. Rio de Janeiro, V. 1, Tema IV, pág. 257-266.

SOUZA, V.A.D., CARVALHO, J.H.Q.S., LUCENA, A.M., HOLANDA, J.M.C., TEIXEIRA, F.J.C. & ARARUNA JR., J.T. – Aspectos geotécnicos associados à ocorrência de erosão regressiva a jusante do vertedouro da barragem de Itaúna. XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, outubro/2002. São Paulo. ABMS. Volume 2. Pág. 997-1007.

SOUZA, V.A.D., CASTRO, M.A.H., FONTANELLE, A.S. & OLIVEIRA, Y.C. – Obras de recuperação e intervenções de segurança efetuadas na fundação e aterro compactado da barragem Jaburu I. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XXVI, Goiânia, 2005. T95 A17. 14 páginas.

SOUZA JUNIOR, T.F., MOREIRA, E.B. & HEINEK, K.S. – Barragens de contenção de rejeitos de mineração no Brasil. Rev. Holos, Ano 34, V. 05. 2018. 39 páginas.

SRH/CE – Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - Atlas eletrônico dos recursos hídricos do Ceará – Arneiroz II – Texto extraído da Internet - http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd_acude=68&status=1. Acesso em 18/11/2018 – Itaúna – Texto extraído da Internet - http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd_acude=96&status=1. Acesso em 24/11/2018.

SRH/CE – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará - Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará. Açude Ema – Características técnicas. Janeiro/2015. Uma página.

SUCHAROV, M. – Erosão da bacia de impacto do vertedouro de Jaguará – Grandes Vertedouros Brasileiros – Comitê Brasileiro de Barragens – Rio de Janeiro, 2002. Pag. 83-91.

SZPILMAN, A. & REN, C. - O efeito do deslizamento da encosta do Córrego dos Cabritos no reservatório de Furnas. In: X Seminário Nacional de Grandes Barragens, Curitiba, 1975. CBGB. Vol. 1, 12 páginas.

TICIANELLI – São José da Lage e a tromba d'água de 1969 – História de Alagoas – 2016. Texto extraído da Internet - <https://www.historiadealagoas.com.br/sao-jose-da-lage-e-a-tromba-dagua-de-1969.html>

TOLEDO, A.P., RIBEIRO, J.C.J. & THOMÉ, R. – Acidentes com barragens de rejeitos da mineração e o princípio da prevenção. Lumen Juris Editora. Rio de Janeiro, 2016. 176 páginas.

VARGAS, M. – Projeto e comportamento da barragem Euclides da Cunha. In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, II. São Paulo, 1963. Anais... ABMS, Vol. 2, pág. 331-346.

VARGAS, M., NUNES, A.J.C., LOPES, J.C., CONTINENTINO, L., Federico, D. – A ruptura da barragem de Pampulha. São Paulo: IPT, 1955. 109 p. (Publicação IPT, 529).

VIANNA, L.F.V. - Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens: auxílio ao processo de tomada de decisão. Dissertação de Mestrado. UGMG. Belo Horizonte. 2015. 118 páginas.

VIEIRA, C.P., OLIVEIRA, L.M. & RIBEIRO, M.Q.C. - Obras de desvio em usinas hidrelétricas - uma abordagem sob a ótica do órgão ambiental. In: XXV Seminário Nacional de, Salvador, BA. 12 a 15 de outubro de 2003 - T94 – 11 páginas.

VIOTTI, C.B. - XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens, Aracaju, 1991. Volume Pós-Congresso. Tema I – Coordenador de debates - Pág. 25 – 26.

VIOTTI, C.B. – Longitudinal cracking at Emborcação dam. In: XIX Congresso Internacional de Grandes Barragens. Florença, It. 1997. Q.75, R.50. Vol.IV. Pág. 735-747.

VIOTTI, C.B. - Incidentes e acidentes na mina Retiro do Sapecado – Mineração Herculano – Itabirito – Minas Gerais. Sem data e sem indicação de publicação. 13 páginas.

VIOTTI, C.B. – Longitudinal cracking at Emborcação Dam. XIX Congresso Internacional da ICOLD. Florença, 1997. Vol. IV, Q. 75, R.50, pág. 735-747.

VIOTTI, C.B., ZICA, H.S., GONÇALVES, E.S. & MACHADO, T.S. – Emborcação. In: Simpósio sobre a Geotecnia da Bacia do Alto Paraná. Cadastro geotécnico. 1983. Pág. 151-177.

WISE URANIUM PROJECT – Tailings Dam Safety – Chronology of major tailings dam failures (from 1960). Outubro/2019. 21 páginas.

XAVIER, L.V., ALBERTONI, S.C., PEREIRA, L.F. & ANTUNES, J. – Campos Novos CFRD - Treatment and behavior of the dam in the second filling of the reservoir. In: III Simpósio de BEFC. Florianópolis, 2007. Tema 03-13. 12 páginas.

XAVIER, L.V., ALBERTONI, S.C., ANTUNES, J. & PEREIRA, R.F. - CFRD Campos Novos – Tratamentos Efetuados e Comportamento da Barragem no Reenchimento do Reservatório. III Simpósio de Barragens de Enrocamento com Face de Concreto, Florianopolis, 2007.

XAVIER, L.V. & CORREA, C. – Acidentes em barragens brasileiras – Barragem de Campos Novos. In: 3º Simpósio de segurança de barragens e riscos associados. Salvador, BA. Tema V. CBDB. Novembro/2008. Apresentação em Power Point. 58 slides.

XAVIER, L.V. – Campos Novos hydropower plant on Canoas river. In: Main Brazilian Dams III – Design, construction and performance. CBDB. Rio de Janeiro. 2009. Pág. 45 a 58.

ZNAMENSKY, D. - Barragens e aproveitamentos hidrelétricos de Jaó e Rochedo sobre o rio Meia Ponte em Goiás: lições não esquecidas de acidentes e incidentes. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XXVI, Goiânia, 2005. T95 A20. 12 páginas.

ZUCH, R.A. – Manifestações patológicas nas estruturas em concreto de usinas hidrelétricas: levantamento de ocorrências e estratégias de reparo utilizadas. UFRGS. Porto Alegre, RS. 2008. 78 páginas.

ZUFFO, M.S.R. – Metodologia para avaliação da segurança de barragens. Dissertação de Mestrado. UEC, Campinas. 2005. 207 páginas.

