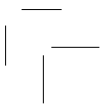
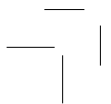


---

# ACIDENTES E RUPTURAS DE BARRAGENS

---





**SETA**  
ENGENHARIA S.A.

**CONSTRUINDO  
A ENERGIA  
DO FUTURO.**

GERALDO MAGELA PEREIRA

# ACIDENTES E RUPTURAS DE BARRAGENS



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

São Paulo, 2020

**2020 Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE**  
Av. Professor Almeida Prado, 532 – Prédio 11 – Cidade Universitária  
São Paulo – SP – CEP 05508-901

*Impresso no Brasil*

**Autor**

Geraldo Magela Pereira

**Projeto Gráfico, Diagramação e Capa**

Rita Motta – Editora Tribo da Ilha

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

Pereira, Geraldo Magela  
Acidentes e rupturas de barragens de  
armazenamentos de água / Geraldo Magela Pereira. --  
São Paulo : ABGE, 2020.

ISBN 978-65-88460-00-9

1. Barragens 2. Barragens de rejeitos - Acidentes  
3. Barragens de rejeitos - Medidas de segurança  
4. Barragens de rejeitos - Projetos e construção  
5. Barragens e açudes I. Título.

20-42272

CDD-627.8

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Barragens : Engenharia civil 627.8

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427



*Learn from yesterday,  
live for today,  
hope for tomorrow.  
The important thing is not  
to stop questioning.*

Albert Einstein

*I know one thing that  
I know nothing.*

Sócrates (29 b-C)



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

**DIRETORIA ABGE GESTÃO 2019/2020**

**Presidente:** Delfino Luiz Gouveia Gambetti  
**Vice-Presidente:** Fernando Facciolla Kertzman  
**Diretora Secretária:** Marcela Penha Pereira Guimaraes  
**Diretor Financeiro:** Sílvia Maria Kitahara  
**Diretor de Eventos:** Renivaldo T. Campos  
**Diretor de Comunicação:** Maria Heloisa B. Oliveira Frasca

**Conselho Deliberativo da ABGE:** Cláudio Luiz Ridente Gomes, Delfino Luiz Gouveia Gambetti, Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, Fernando Facciolla Kertzman, Francisco Nogueira de Jorge, Iramir Barba Pacheco, Ivan José Delatim, Jacinto Costanzo Junior, João Paulo Monticelli, Julio Yasbek Reia, Marcela Penha Pereira Guimarães, Marcelo Denser Monteiro, Maria Heloisa B. Oliveira Frasca, Otávio Coaracy Brasil Gandolfo, Paula Sayuri Tanabe Nishijima, Raquel Alfieri Galera, Renata Augusta Rocha N. de Oliveira, Renivaldo T. Campos, Ricardo Antônio Abrahão, Ricardo Vedovello e Sílvia Maria Kitahara.

**Conselho Consultivo:** Adalberto Aurélio Azevedo (Presidente), Carlos Manoel Nieble, Fernando Facciolla Kertzman, Fernando Paes de Barros, Jaime de Oliveira Campos, Giacomo Ré, Guido Guidicini, Kenzo Hori, João Jerônimo Monticeli, Luiz Ferreira Vaz, Luiz Francisco Saragiotto, Maria Heloisa Barros de Oliveira Frasca, Tarcísio Barreto Celestino, Murillo Dondici Ruiz, Nivaldo José Chiossi e Wilson Shoji Yiomasa.

**NÚCLEO RIO DE JANEIRO**

Conselho Deliberativo: Marcela Tuler Castelo Branco, Marcelo de Queiroz Jorge, Márcio Fernandes Leão, Nelson Meirim Coutinho, Rafael Silva Ribeiro, Raquel Batista Medeiros da Fonseca, Thiago Dutra dos Santos e Victor Augusto Hilquias Silva Alves.

**NÚCLEO MINAS GERAIS**

Conselho Deliberativo: Alberto Ferreira do Amaral Junior, Ângelo Almeida Zenobio, Ellen Delgado Fernandes, Fábio Soares Magalhães, Inácio de Carvalho, Luis de Almeida P. Bacellar, Maria Giovana Parizzi, Thiago Marques Baptista Teixeira e Yan Lucas de Oliveira P. dos Santos.

**NÚCLEO SUL**

Conselho Deliberativo: Andrea Valli Nummer, Cezar Augusto Burkert Bastos, Débora Lamberty, Erik Wunder, Hermam Vargas Silva, Malva A. Mancuso e Murilo da Silva Espíndola.

**NÚCLEO CENTRO OESTE**

Conselho Deliberativo: Bruno Diniz de Mello Moreira, Gabriel do Nascimento Ribeiro, Getúlio Ezequiel da C. Peixoto Filho, João Luiz Armelin, Kurt João Albrecht, Patricia de Araújo Romão, Ricardo Moreira Vilhena e Rodrigo Luiz Gallo Fernandes.

**NÚCLEO NORTE**

Conselho Deliberativo: Cláudio Fabian Szlafsztain, Dianne Danielle Farias Fonseca, Elton Rodrigo Andretta, Iris Celeste Nascimento Bandeira, Luciana de Jesus P. P. Miyagawa, Milena Marília Nogueira de Andrade e Sheila Gatinho Teixeira.



*Comitê Brasileiro de Barragens*

**DIRETORIA DO COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB**

**Presidente:** Carlos Henrique de A. C. Medeiros  
**Vice-Presidente:** José Marques Filho  
**Diretor Secretário:** Celso José Pires  
**Diretor de Comunicações:** Ricardo Aguiar Magalhães  
**Diretor Técnico:** Dimilson Pinto Coelho

## AGRADECIMENTOS

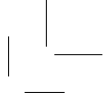
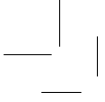
Agradeço à Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE, através de seu Presidente, engenheiro Delfino Gambetti, o interesse em publicar este livro sobre Acidentes e Rupturas de Barragens.

Na minha opinião, este livro, elaborado com informações extraídas da bibliografia, será importante para o desenvolvimento da carreira dos profissionais multidisciplinares que militam no campo de barragens.

É uma honra, para mim, que esta obra receba a chancela da ABGE. Cabe destacar que o livro foi revisado em detalhes, por solicitação, da ABGE, pelo engenheiro Iramir Barba Pacheco, meu amigo desde a década de 1980, época dos projetos das usinas hidrelétricas de Canoas I e Canoas II no rio Paranapanema, na divisa dos Estados de São Paulo e do Paraná.

Ainda temos muitas barragens e usinas hidrelétricas para fazer no Brasil. No setor há mais de 40 anos, tudo que eu desejaria hoje seria a volta desses projetos para o bem do país, uma vez que eles produzem energia renovável, limpa e mais barata que a das outras fontes de energia.

Finalmente, agradeço ao meu amigo Murilo Lustosa Lopes, engenheiro e Assessor Nacional de Perícia e Meio Ambiente da Procuradoria Geral da República – Ministério Público Federal, sempre disponível para acrescentar comentários valiosos a todos os trabalhos que desenvolvo.



A ABGE agradece aos consultores que gentilmente colaboraram para 1ª Edição do livro “Acidentes e Rupturas de Barragens”.

ALOÍSIO RIBEIRO AGUIAR

CLÁUDIO MOREIRA DA SILVA

CLÁUDIO WERNECK MUNIZ

IRAMIR BARBA PACHECO

JOÃO LUIZ ARMELIN

JOSÉ ROBERTO SANCHES PERES

LUIZ MORITA

LUIZ JOSÉ PRETO RODRIGUES

MURILO LUSTOSA LOPES

NELSON CAPRONI JÚNIOR

PAULO COREIXAS JÚNIOR

REGINA MORETTI

SÉRGIO AUGUSTO DE ARRUDA CAMARGO

SILVIA MARIA KITAHARA

TARCÍSIO BARRETO CELESTINO

# SUMÁRIO

PREFÁCIO .....	33
APRESENTAÇÃO.....	37
CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	39
<b>Capítulo 1</b>	
BARRAGENS, RESERVATÓRIOS, SEGURANÇA.....	43
<b>Capítulo 2</b>	
AS BARRAGENS MAIS ALTAS DO MUNDO .....	49
<b>Capítulo 3</b>	
ALGUMAS BARRAGENS BRASILEIRAS .....	53
<b>3.1</b> Barragem de Itaipu .....	53
<b>3.2</b> Barragem de Aimorés .....	55
<b>3.3</b> Barragem de Irapé .....	56
<b>3.4</b> Barragem de Campos Novos.....	57
<b>3.5</b> Barragem de Foz do Chapecó .....	59
<b>Capítulo 4</b>	
ASPECTOS BÁSICOS DAS RUPTURAS .....	61
<b>4.1</b> Introdução .....	61
<b>4.2</b> Estatística das causas de rupturas.....	62
<b>4.3</b> Aspectos geotécnicos.....	68
<b>4.3.1</b> Comportamento ao longo do tempo .....	68
<b>4.3.2</b> Conhecimento das causas .....	69
<b>4.3.3</b> Deficiências da fundação.....	69
<b>4.3.4</b> Condições dos aterros.....	71
<b>4.4</b> Aspectos hidrológicos .....	73

4.5	Aspectos construtivos .....	79
4.6	Demais causas – operação inadequada.....	81
<b>Capítulo 5</b>		
ACIDENTES COM BARRAGENS .....		83
5.1	Introdução .....	83
5.2	A “barreira” do rio Romanche (França) .....	87
5.3	Rupturas por Galgamento .....	90
5.3.1	Barragem de Orós (Brasil).....	90
5.3.2	Barragens de Euclides da Cunha e Armando Salles de Oliveira (Brasil).....	99
5.3.3	Barragem de El Guapo (Venezuela) .....	101
5.3.4	Barragem de Banqiao (China) .....	104
5.3.5	Barragem de Machhu II (Índia).....	106
5.3.6	Barragem de Glashütte (Alemanha) .....	109
5.3.7	Barragem de Canyon Lake (USA).....	111
5.3.8	Barragens Panshet e Khadakwasla (Índia) .....	114
5.3.9	Barragem de Babi Yar (Ucrânia).....	117
5.3.10	Barragem de Frías (Argentina).....	121
5.3.11	Barragem de Lower Otay (EUA) .....	125
5.3.12	Barragem de Whitewater Brook Upper (EUA) .....	127
5.3.13	Barragem de South Fork (EUA) – Vertedouro inadequado.....	129
5.3.14	Barragem de Laurel Run (EUA) – Vertedouro inadequado.....	132
5.3.15	Barragem de Walnut Grove (EUA) – Vertedouro inadequado..	134
5.3.16	Barragem de Sempor (Indonésia – Java) .....	137
5.3.17	Barragem de Eigiau e Coedty (País de Gales – Reino Unido)....	140
5.3.18	Barragem Situ Gintung (Indonésia).....	110
5.3.19	Barragem Ka Loko (Havái) .....	146
5.3.20	Barragem Twentyone (EUA).....	149
5.4	Rupturas pela Fundação .....	153
5.4.1	Barragem da Pampulha (Brasil) .....	153
5.4.2	Barragem de Teton (EUA).....	155
5.4.3	Barragem de Fontenelle (EUA).....	160
5.4.4	Barragem de Nanaksagar (Índia) .....	164
5.4.5	Barragem de Malpasset (França).....	167
5.4.6	Barragem de St. Francis (EUA).....	172
5.4.7	Reservatório de Baldwin Hills (EUA).....	177
5.4.8	Barragens de San Fernando (Van Norman) (EUA) .....	179
5.4.9	Barragem de Austin (EUA) .....	183
5.4.10	Barragem de Walter Bouldin (EUA).....	185

<b>5.4.11</b>	Barragem de Bila Desna (República Tcheca).....	186
<b>5.4.12</b>	Barragem de Camará (Brasil) .....	189
<b>5.4.13</b>	Barragem de Big Bay (EUA).....	193
<b>5.4.14</b>	Barragem de Hadlock (EUA).....	197
<b>5.4.15</b>	Barragens de Lawn Lake e Cascade (EUA) .....	199
<b>5.4.16</b>	Barragem de Meadow Pond (Bergeron) (EUA) .....	201
<b>5.5</b>	Colapso Estrutural.....	203
<b>5.5.1</b>	Barragem de Espora (Brasil) .....	203
<b>5.5.2</b>	Barragem de Apertadinho (Brasil).....	206
<b>5.5.3</b>	Barragem Vega de Tera (Espanha) .....	210
<b>5.5.4</b>	Barragem Alla Sella Zerbino (Itália).....	214
<b>5.5.5</b>	Barragem de Gleno (Itália).....	221
<b>5.5.6</b>	Barragem de Bouzey (França) .....	222
<b>5.5.7</b>	Barragem El Habra (Argélia) .....	228
<b>5.6</b>	Rupturas por erosão externa .....	231
<b>5.6.1</b>	Barragem de Tighra (Índia) .....	231
<b>5.6.2</b>	Barragem de Algodões I (Brasil) .....	234
<b>5.7</b>	Ruptura por várias causas – O Caso Taum Sauk (EUA).....	236
<b>5.8</b>	Ruptura do dique da câmara de carga, PCH Inxu (Brasil).....	239
<b>5.9</b>	Água Vermelha: correntes de retorno (Brasil).....	240
<b>5.10</b>	Acidentes por Cavitação .....	245
<b>5.10.1</b>	Barragem de Oroville (EUA).....	245
<b>5.10.2</b>	Barragem de Shahid Abbaspour (Irã).....	250
<b>5.10.3</b>	Barragem de Guri (Venezuela) .....	251
<b>5.11</b>	O acidente de Vajont, deslizamento de talude (Itália) .....	252
<b>5.12</b>	Warmwithens – ruptura ao longo de conduto (Inglaterra).....	260
<b>5.13</b>	Eklutna – Várias reabilitações e reconstruções (EUA) .....	261
<b>5.14</b>	Tous (Espanha) .....	264
<b>5.15</b>	Rupturas de comportas .....	268
<b>5.15.1</b>	Barragem de Folsom (EUA).....	268
<b>5.15.2</b>	Barragem La Villita (México) .....	270
<b>5.15.3</b>	Barragem de Salto Osório (Brasil).....	272
<b>5.16</b>	Rupturas por explosão .....	274
<b>5.16.1</b>	Conduto forçado da Usina Hidrelétrica de Bieudron (Suíça) ....	274
<b>5.16.2</b>	Turbina 2 da Usina Hidrelétrica de Sayano-Shushenskaya (Rússia) .....	276

<b>5.17</b> Ruptura por atos de guerra – Barragem Möhne (Alemanha).....	281
<b>5.18</b> Barragem de Tokwe Mukosi – ruptura parcial (Zimbábue) .....	283
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	287
REFERÊNCIAS.....	291
APÊNDICES .....	295
<b>Apêndice 1.</b> Classificação quanto à ruptura .....	295
<b>Apêndice 2.</b> Investigações e Estudos Geotécnicos.....	297



## PREFÁCIO

Cabe-me a honra e responsabilidade de prefaciar o livro “ACIDENTES E RUP-  
TURAS DE BARRAGENS”, de autoria do engenheiro Geraldo Magela Pereira. É uma  
tarefa que faço com muito prazer, tanto pelo conteúdo do livro, mas também e prin-  
cipalmente pela minha longa relação de amizade com o autor.

Magela, como seus amigos o tratam, é uma dessas pessoas únicas e especiais.  
Amigo para toda e qualquer hora, traz consigo uma energia e otimismo contagiante,  
não obstante as adversidades da vida.

Trabalhamos juntos, nos anos de 1990, quando ele foi o coordenador técnico  
pela empresa Engevix Engenharia dos projetos básico e executivo dos empreendi-  
mentos hidrelétricos de Canoas I e II, desenvolvido pela CESP. Profissional compe-  
tente, sempre comprometido com o que se propõe a executar, como foi seu desempe-  
nho na atividade de coordenador de projeto, e agora, como autor de livros.

Mas não é para (só) falar do autor, e sim de sua obra, que aqui me apresento.

Trabalhei na CESP – Companhia Energética de São Paulo de dez/1973 a  
jan/2011, desde engenheiro júnior no Setor de Geotecnia até diretor de Engenharia e  
Construção. E nesse longo espaço de tempo tive a oportunidade de poucos de traba-  
lhar em muitos projetos desenvolvidos pela minha empresa, e de conhecer e conviver  
com consultores internacionais e nacionais da excelência de Arthur Casagrande, Ja-  
mes L. Sherard, Roy W. Carlson, Manuel Rocha, Fernando Lemos, bem como, Milton  
Vargas, Victor F. Mello, Paulo T. Cruz, Guy Bordeaux, Murillo D. Ruiz e Milton Kanji.

Esses profissionais contribuíram com seu elevado conhecimento e experiência  
para que a CESP adquirisse uma sólida cultura de engenharia de projeto e constru-  
ção de empreendimentos hidrelétricos, que se tornou referência no cenário nacional.  
A segurança conservadora dos projetos e dos processos construtivos sempre foi a  
preocupação central da CESP, valor esse incorporado em todos os membros e parti-  
cipantes das equipes de projeto e construção da companhia.

Isso não impediu, entretanto, que nesse período nós vivenciássemos duas gran-  
des catástrofes, que foram as rupturas por galgamento, das UHE Euclides da Cunha  
e Armando Salles de Oliveira, do rio Pardo - SP, em janeiro de 1977. A ocorrência de

uma conjunção desfavorável de precipitações pluviométricas extremamente excepcionais e concentradas nas bacias hidrográficas, com falhas na comunicação entre o centro de controle de operação da empresa e a sala de controle da usina foram as causas determinantes do colapso dos barramentos.

Outro episódio, de quase catástrofe, foi a erosão da proteção em enrocamento do abraço na margem esquerda da UHE de Água Vermelha (José Ermírio de Moraes), rio Grande, divisa dos estados de São Paulo e Minas Gerais, ocorrida em janeiro de 1980. O escoamento transitório decorrente da operação assimétrica dos vertedouros induziu correntes de retorno mais intensas do que aquelas previstas em modelo hidráulico reduzido, e que provocaram a erosão da camada de proteção em enrocamento do abraço em questão. Os três casos estão apresentados no livro.

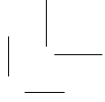
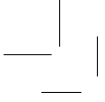
Esse breve relato tem o propósito de ressaltar que o desconhecido faz parte das nossas vidas. Mesmo em situações bastante estudadas e controladas, imprevistos podem ocorrer. Erros de projeto, defeitos ocultos, inadequações construtivas e de operação também têm papel relevante nesse contexto, e sobre esses fatores é que todos os esforços devem ser dirigidos no sentido de preveni-los e saná-los.

O livro “ACIDENTES E RUPTURAS DE BARRAGENS” tem, ao meu olhar, o mérito de trazer de forma didática uma síntese de casos de rupturas em barragens, agrupadas por sua causa principal, e as lições que podem ser extraídas desses acidentes.

Antecipando a sua leitura, podemos dele extrair três grandes lições a serem repetidas como mantras. A primeira grande lição é que os custos do investimento em estudos, investigações, e qualidade de projeto de engenharia, são ínfimos quando comparados aos de construção, e estes últimos também são ínfimos quando comparados aos de um acidente, tanto econômicos quanto sociais. Os episódios recentes no nosso país, todos sobejamente conhecidos, atestam o que acima está dito.

A segunda grande lição diz respeito aos cuidados permanentes de manutenção preventiva, durante a vida útil da obra, associados à constante atenção às mudanças das condições de contorno que cercam o empreendimento. Muito dos acidentes, principalmente nos primeiros anos de operação, ocorrem por falta de atenção a pequenos problemas que se tornam importantes se não atendidos a tempo.

A terceira lição, intimamente relacionada às anteriores, é referente à maneira como a barragem será operada. Acidentes por galgamento, por exemplo, têm estreita relação com a qualidade deficiente (ou pouco conservadora) dos estudos hidrológicos, que determinarão dimensões insuficientes do sistema de extravasão; têm, também, relação com as alterações ao longo do tempo das características da bacia hidrográfica do empreendimento, mas também, com a forma como são gerenciadas as vazões afluentes ao reservatório.



Tudo isso parece óbvio, mas infelizmente nem sempre é observado. Muito acidentes poderiam ter sido evitados se essas três lições tivessem sido aprendidas na teoria e na prática. Procedimentos modernos de projeto, construção e operação estão disponíveis para serem aplicados.

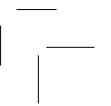
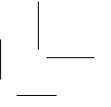
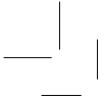
Este livro será de grande valia a todos os profissionais ligados às atividades de projeto e construção de barramentos, em especial, aos novos profissionais que chegam ao mercado de trabalho, e que, pelas circunstâncias atuais, não têm tido ainda a possibilidade de estarem envolvidos em empreendimentos de maior porte nessa área.

“Não corrigir as próprias falhas é cometer a pior delas” teria dito o filósofo chinês Confúcio. O livro “ACIDENTES E RUPTURAS DE BARRAGENS” sempre nos lembrará dessa verdade.

Sejamos, portanto, prudentes e busquemos aprender com os nossos fracassos do passado, para assegurarmos o sucesso do nosso futuro.

Boa leitura a todos!

*Iramir Barba Pacheco*  
Coordenador Técnico ABGE



## APRESENTAÇÃO

Este livro aborda o tema “Acidentes e Rupturas de Barragens” com o objetivo de auxiliar os jovens engenheiros em seu aprendizado da prática de se projetar barragens, de acordo com critérios de projeto internacionalmente consagrados, tentando-se minimizar os erros rotineiramente cometidos.

Fazemos barragens há 4 mil anos, mas os critérios de projeto para construção dessas estruturas apenas recentemente foram consolidados. No Brasil, podem ser encontrados nos documentos da Eletrobrás/CBDB relacionados a seguir.

- Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores (1987).
- Diretrizes para Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (2000).
- Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas (2003).

O assunto foi desenvolvido a partir de informações extraídas da bibliografia, sobretudo USBR (1983), explorando-se os erros do passado que implicaram acidentes e desastres, no intuito de minimizá-los em projetos futuros. Destaca-se que a taxa atual de rupturas de barragens é baixa, da ordem de 0,17% (Serafim, 1981). Quem sabe não se conseguirá reduzi-la ainda mais!

A estrutura do livro foi influenciada pelas causas de rupturas identificadas pelo USBR (1983), nos estudos realizados em 1976 sobre a ruptura da barragem de Teton, em Idaho nos Estados Unidos da América. Esses estudos revelaram que:

- 59% dos acidentes são devidos a problemas ligados aos aspectos geológico-geotécnicos das fundações e dos aterros das barragens;
- 23% são devidos às vazões superiores àquelas definidas para os projetos dos vertedores, as quais foram subestimadas nos estudos hidrológicos e que implicaram o alteamento dos níveis d'água dos reservatórios e no galgamento das barragens;
- 12% são devidos a aspectos relativos à construção deficiente das barragens;
- os restantes 6% dos acidentes são devidos a atos de guerra, ou à operação inadequada das usinas, ou, ainda, a terremotos.

Pode-se afirmar que só será possível reduzir e/ou minimizar os erros se as projetistas e as construtoras tiverem domínio das disciplinas afins envolvidas nos projetos e nas obras, a saber: geologia, geotecnia, hidrologia, hidráulica, concepção de projetos e das práticas construtivas adequadas.

Considerando-se que a engenharia geotécnica tem sido caracterizada como uma abordagem de projeto em face das incertezas, como filosofia de projeto e por prudência, devemos sempre lembrar a recomendação de Bjerrum (1960):

- “o caminho convencional de se lidar com as incertezas predominantes é preparar o projeto interpretando-se os dados disponíveis da forma mais pessimista possível”.

E não podemos esquecer a recomendação de Terzaghi:

- “faça o projeto com base em informações garantidas; faça um inventário detalhado de todas as possíveis diferenças entre a realidade e as hipóteses; compute, com base nas hipóteses, as várias quantidades que podem ser medidas no campo; com base nos resultados de tais medições, gradualmente feche as lacunas de conhecimento e, se necessário, modifique o projeto durante a construção”.

Cabe referência ao livro “100 Barragens Brasileiras” (Cruz, 1966), no qual o autor discorre, detalhadamente, sobre os temas fundamentais de projeto relacionados a seguir.

- Materiais de empréstimos;
- Comportamentos de solos e de enrocamentos;
- Permeabilidade e condutividade;
- Drenagem e critérios de filtragem;
- Sistemas de vedação;
- Estudos e medidas de tensões e deformações em barragens e em suas fundações;
- Interfaces solo/concreto e enrocamento/concreto;
- Cálculos de estabilidade; e,
- Instrumentação.

Cruz (1966) ressalta, no capítulo sobre “Princípios Gerais de Projeto”, que a arte de projetar está ligada à arte de controlar o fluxo pelo conjunto barragem-fundação e que a estabilidade externa (taludes) e interna (conjunto barragem-fundação) deve atender aos requisitos de segurança estabelecidos em função do tipo da obra e das diversas condições de carregamento que serão admitidas.

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As barragens vêm contribuindo efetivamente para o progresso da humanidade desde a antiguidade, há quatro mil anos. Sem dúvida, elas foram as primeiras estruturas feitas pelo homem com o objetivo de criar os reservatórios de água para abastecimento humano. Os usos dos reservatórios se ampliaram e passaram a ser múltiplos, contemplando a dessedentação de animais, os sistemas de irrigação, os aproveitamentos para geração de energia elétrica, regularização de vazões e o controle de cheias, a navegação e recreação. Nas últimas décadas, as barragens têm sido usadas também para contenção de resíduos e rejeitos de indústrias e mineração. Todos esses benefícios são, indubitavelmente, de extrema importância para a sociedade. Imagine os desconfortos para a população e os prejuízos para a economia decorrentes de eventual falta de água ou de energia por um tempo! Ou em sistemas de irrigação que suportam a agricultura ao redor do mundo!

Os reservatórios armazenam, adicionalmente, energia potencial que, se liberada subitamente, em casos eventuais de ruptura da barragem, poderá provocar desastres e/ou tragédias. Essas rupturas sempre causam danos de porte para a infraestrutura regional e para as populações ribeirinhas a jusante, que excedem a capacidade de essas comunidades se reconstruírem com seus próprios recursos. Além de danos ao meio ambiente, provocam, frequentemente, perdas de vidas humanas, o que é intangível. Por essas razões, os riscos de ruptura de uma barragem devem ser minimizados para maximizar a sua segurança.

Em função desses aspectos, após uma série de rupturas catastróficas a partir da década de 1950, diversos países ao redor do mundo começaram a pensar na segurança de suas barragens. O processo foi lento e demorado. Na América, somente após a ruptura da barragem de Teton, em 1976, que o governo federal deflagrou o programa de estudos para suportar o planejamento e a implantação do sistema de segurança de suas barragens.

Esse programa de estudos, realizado pelo USBR em 1983, está disponível em vários sites, publicado sob o título “Barragens e Segurança Pública” (Dams and Public Safety), permitiu concluir que 59% dos acidentes foram atribuídos a causas

geológico-geotécnicas, 23% ocorreram por causas hidrológicas-hidráulicas e 12% foram devidos a falhas de construção diversas, seja no tratamento das fundações, seja na escolha dos materiais, seja na compactação dos aterros. Essas três causas responderam por 94% dos acidentes. Os outros 6% decorreram de atos de guerra (3%), operação inadequada (2%) e terremotos (1%). Esse exemplo de transparência deveria ser seguido por todos os proprietários de barragens ao redor do mundo, o que, no entanto, é raro na maioria dos países.



**Ruptura de Teton (1976).**

Muitas das informações aqui apresentadas foram extraídas desse livro, visando ajudar e facilitar o aprendizado dos engenheiros da prática de elaborar projetos de barragens, procurando-se reduzir ao máximo a repetição dos erros acontecidos no passado. Os números do USBR corroboram e ressaltam a **complexidade das questões geológico-geotécnicas e hidrológicas**. Muitas rupturas se deram por deformação da fundação. Algumas por fraquezas ou falhas no contato fundação e aterro, as quais resultaram em *piping*. Outras por galgamento e conseqüente erosão que implicaram o colapso da estrutura. Em muitos acidentes, verificou-se que a elevação do nível d'água do reservatório poderia ter sido revertida e ter-se evitado o galgamento-ruptura se a obra tivesse um dispositivo de descarga de fundo.

A pesquisa realizada se ateve aos acidentes ocorridos a partir do século XX, mas alguns do século XIX foram incluídos. O trabalho resalta a importância de se:

- deter o domínio das principais disciplinas envolvidas;
- realizar os estudos e projetos em profundidade, sem economias nos estudos básicos e nas investigações de campo;
- observar, sistematicamente, os critérios de projeto consagrados internacionalmente;



- observar as boas práticas de construção, de operação e de manutenção dos empreendimentos hidráulicos.

Acredita-se que assim procedendo será reduzir, ainda mais, as probabilidades e os riscos de ocorrências desses acidentes e desastres. Por disciplinas principais o autor quer se referir às seguintes: geologia, geotecnia, hidrologia, hidráulica e meio ambiente. Ressalta-se que na:

- na disciplina de geologia e geotecnia está incluída a atividade de investigações das fundações e dos materiais naturais de construção; e
- na disciplina hidrologia está embutida, implicitamente, estatística e probabilidade na definição das vazões máximas de projeto do vertedouro;
- na disciplina hidráulica está incluída a atividade de definição dos arranjos das obras dos empreendimentos hidráulicos; e,
- na disciplina de meio ambiente está incluída a caracterização dos impactos do empreendimento sobre a infraestrutura local e regional.

Neste livro estão apresentados, da melhor forma que se conseguiu e foi possível, dados sobre acidentes ao redor do mundo, incluindo alguns no Brasil:

- da barragem de Camará, rio Mamanguape no estado da Paraíba, em 19/06/2004;
- da PCH Apertadinho, em Vilhena, confluência dos rios Pimenta Bueno e Comemoração, no estado de Rondônia, em 09/01/2008;
- da PCH Espora, rio Corrente, Aporé/Itarumã, no estado de Goiás, em 31/01/2008;
- da barragem de Algodões, rio Piranji no estado do Piauí, em 27/05/2009.

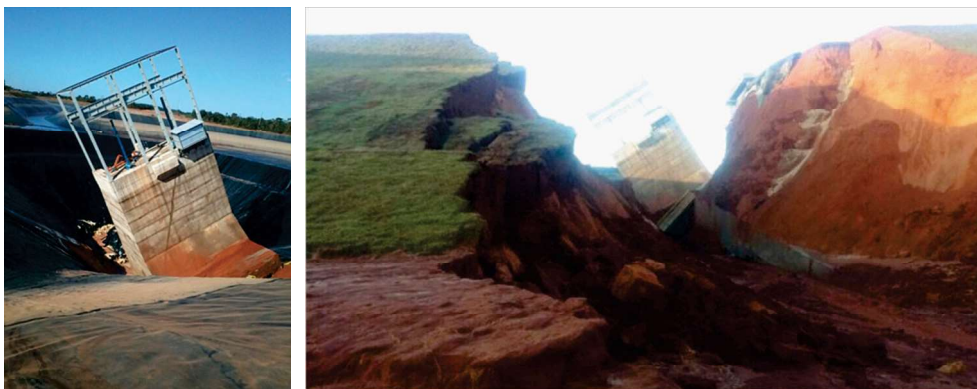
Não foi possível apresentar o acidente da PCH Inxu no rio do Sangue em 06/06/2015, Campo Novo do Parecis (MT), uma vez que o caso não foi publicado. Na internet apenas foram encontradas notícias resumidas, de onde se extraíram as imagens mostradas a seguir.

Uma análise mais aprofundada seria possível se os proprietários fossem obrigados por lei a divulgar todos os dados e as informações sobre os acidentes, ou facilitassem o acesso a estes imediatamente após a ocorrência das rupturas. A não disponibilização, e/ou divulgação, dos dados para a comunidade e associações técnicas especializadas<sup>1</sup> interessadas em estudar em profundidade as causas

---

<sup>1</sup> CBDB – Comitê Brasileiro de Barragens, ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos e ABRRD – Associação Brasileira de Redução de Riscos de Desastres.

dos acidentes ocorridos, impossibilita o aprendizado das lições, bem como a evolução técnica no estado da arte da matéria.



**PCH Inxu (2015).**

---

O autor registra que continuará empenhado em estudar o assunto; dessa forma, com este novo livro objetiva atingir, pelo menos em parte, seus objetivos.