

Segurança estrutural de barragens: aspectos técnicos

Wilson Shoji Iyomasa

*Palestra apresentada na Escola de Negócios e Seguros,
19/04/2022. 42 slides*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

www.ipt.br



Seu desafio é nosso



Segurança Estrutural de Barragens

Aspectos Técnicos

Wilson Iyomasa

IPT- Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente – CIMA

Março/2022

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

SUMÁRIO

TIPOS DE BARRAGENS

INSTRUMENTAÇÃO/MONITORAMENTO

AValiação DA SEGURANÇA DE BARRAGENS

CLASSIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS

COLAPSO DE BARRAGENS





PRINCIPAIS TIPOS DE BARRAGENS

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

DEFINIÇÃO:

BARRAGEM*: qualquer estrutura construída de maneira que se possa formar reservatório para armazenar**:

1 – Água

2 – Sedimentos ou Partículas Sólidas (de pedreiras, minerações, construções de obras civis etc.)

3 – Rejeitos de minerações

4 – Resíduos industriais

***Inclui:** Estruturas associadas (diques, descarregador de fundo, vertedouro, margens laterais etc.)

****Exclui:** Aterros Sanitários

Barragem Limoeiro, SP – 20/01/1977 (1/2 hora depois)
FONTE: Carlos E. M. de Sousa e Douglas de O. Reis, 2019

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

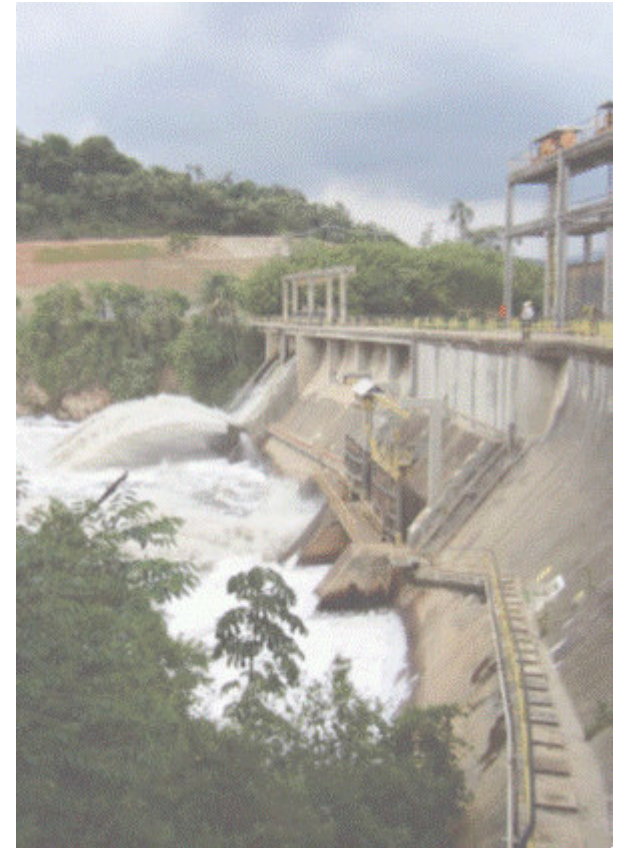
TIPOS DE BARRAGENS:

- **Concreto:** Arco (simples e duplo), Gravidade, Contraforte, Compactado a rolo, Ciclópico etc. (**ver relatório SIMA – 2019**)



Barragem de Vajon - França

FONTE: Jonathan Bruno Moreira, José Walter Curcino Souza Junior, 2020



FONTE: São Paulo: SIMA, 2019

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

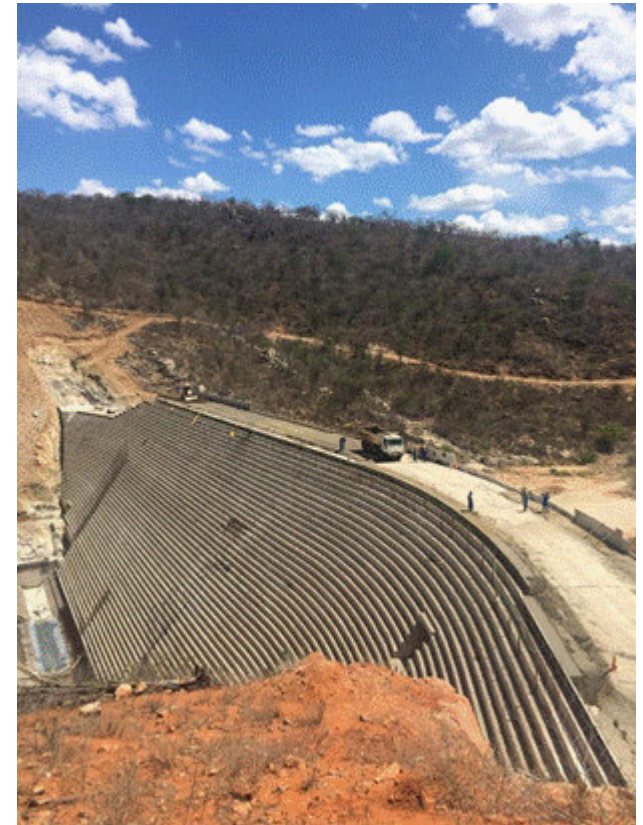
TIPOS DE BARRAGENS:

- **Concreto:** Arco (simples e duplo), Gravidade, Contraforte, Compactado a rolo, Ciclópico etc. (**ver relatório SIMA – 2019**)



Barragem de Itaipu

FONTE: <https://afinalturismo.blogspot.com/2013/06/complexo-turistico-itaipu-maior-usina.html>, 2022



FONTE: <http://www.rcaconstrucoes.com/projetos/barragem-de-concreto/>, 2022

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

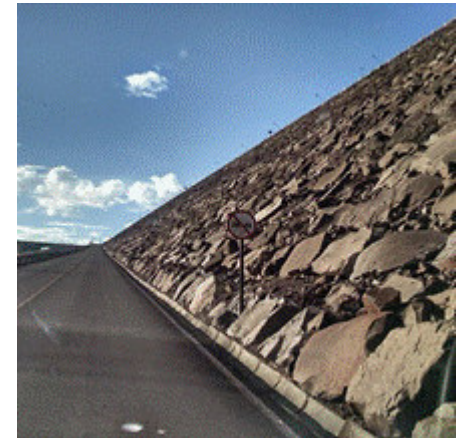
TIPOS DE BARRAGENS:

- **Enrocamento:** construída com blocos de rocha compactados



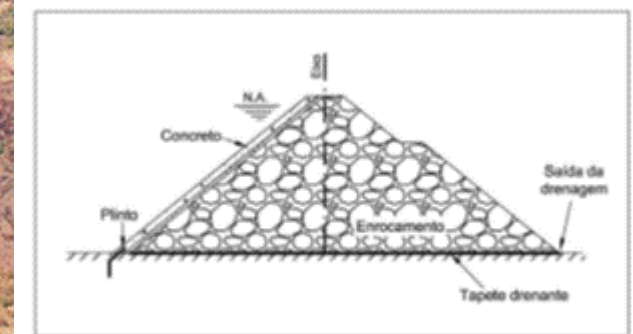
Barragem Foz do Areia

FONTE: https://www.viajeparana.com/sites/viaje-parana/arquivos_restritos/files/styles/escala_e_corta_915_555_/public/imagem/2019-04/usina_1.png?itok=BhF4FzQP



FONTE:

https://live.staticflickr.com/8845/17878002729_cc3cf56c7f.jpg



FONTE: São Paulo: SIMA, 2019

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

TIPOS DE BARRAGENS:

- **Terra (solo):** construída com solo (terra) compactado



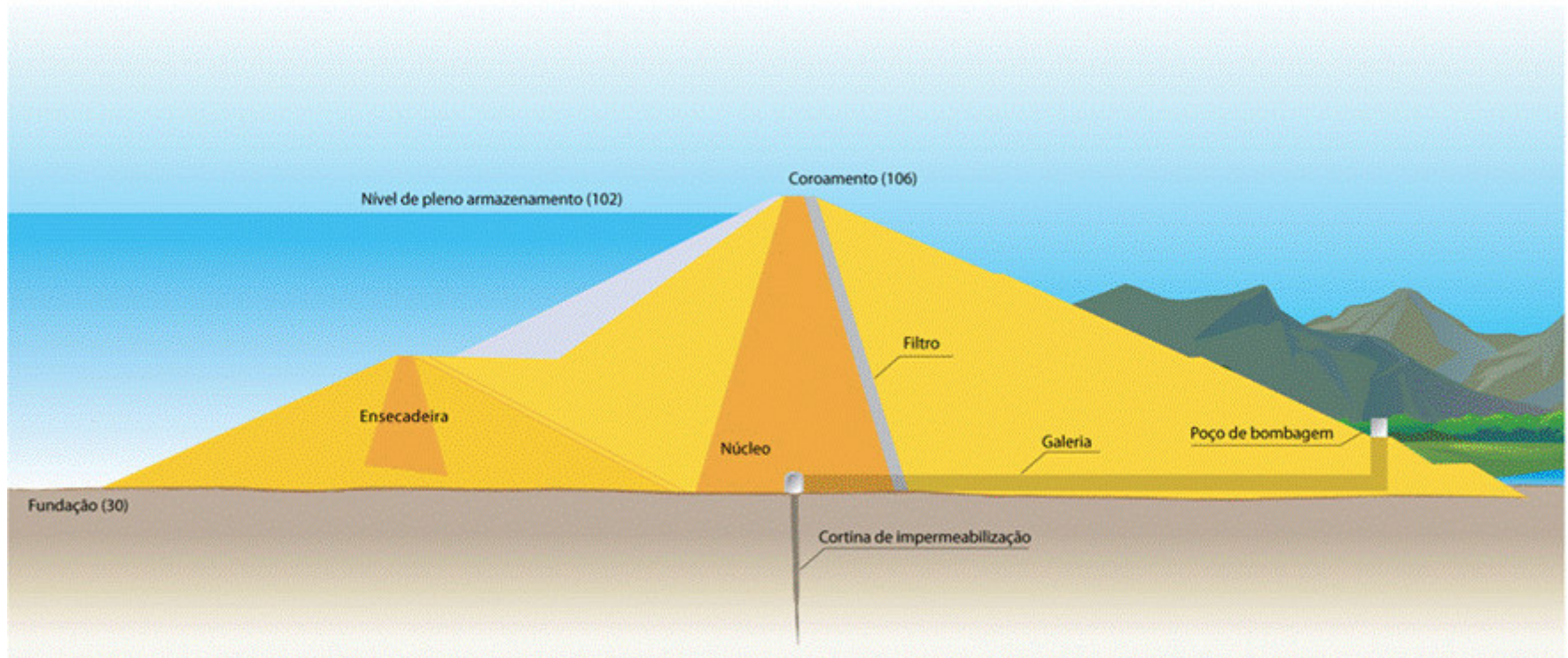
Barragem Euclides da Cunha

FONTE: Carlos Eduardo Melo de Sousa e Douglas de Oliveira Reis

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

TIPOS DE BARRAGENS:

- **Terra:** Homogênea, Zoneada etc.



FONTE: https://www.aguasdoalgarve.pt/sites/aguasdoalgarve.pt/files/infraestrutura/odelouca/barragem_alcado.jpg

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

TIPOS DE BARRAGENS:

- **Mais comuns:** Barragem de Terra e Barragem Mista



Barragem de Itaipu

FONTE: <https://www.radioculturafoz.com.br/wp-content/uploads/2017/05/itaipu-1.jpg>

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

TIPOS DE BARRAGENS:

- Rejeitos de Mineração e Resíduos Industriais

FONTE:

https://mamnacional.org.br/files/2018/08/yama_na_5_20140213_1873740406-1000x600.jpg



FONTE:

<https://www.noticiasdeminerao.com/w-images/566a650e-9115-4d64-bb2e-8c2d6e2b34a1/5/1104BarragensVargemGrandeMaravilhasII-1024x475.jpg>

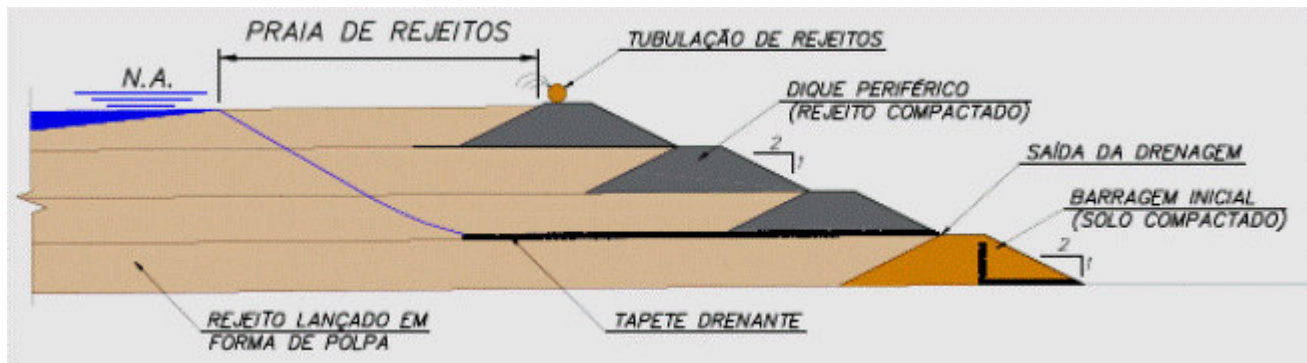
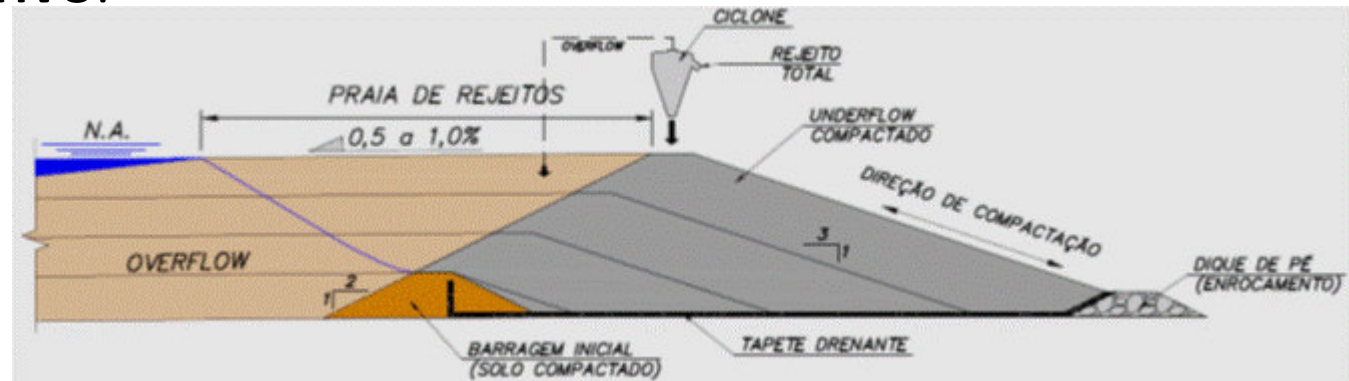
SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO e RESÍDUOS INDUSTRIAIS:

Material de Construção

- Próprio REJEITO da Mineração

PROCESSO CONSTRUTIVO:



FONTE: São Paulo: SIMA, 2019

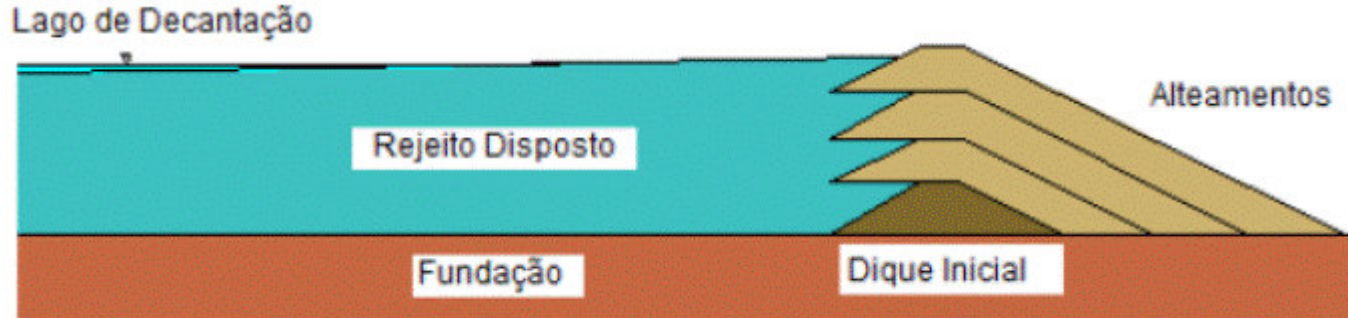
SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO e RESÍDUOS INDUSTRIAIS:

Material de Construção

- Próprio REJEITO da Mineração

PROCESSO CONSTRUTIVO:



FONTE: PUC-RIO – Certificação Digital nº 1012285/CA
https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20720/20720_3.PDF

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO:



Mosaic Fertilizantes, Cajati, SP

FONTE: Relatório do GT Barragens SEM/SMA/SSRH/CMIL, 2016

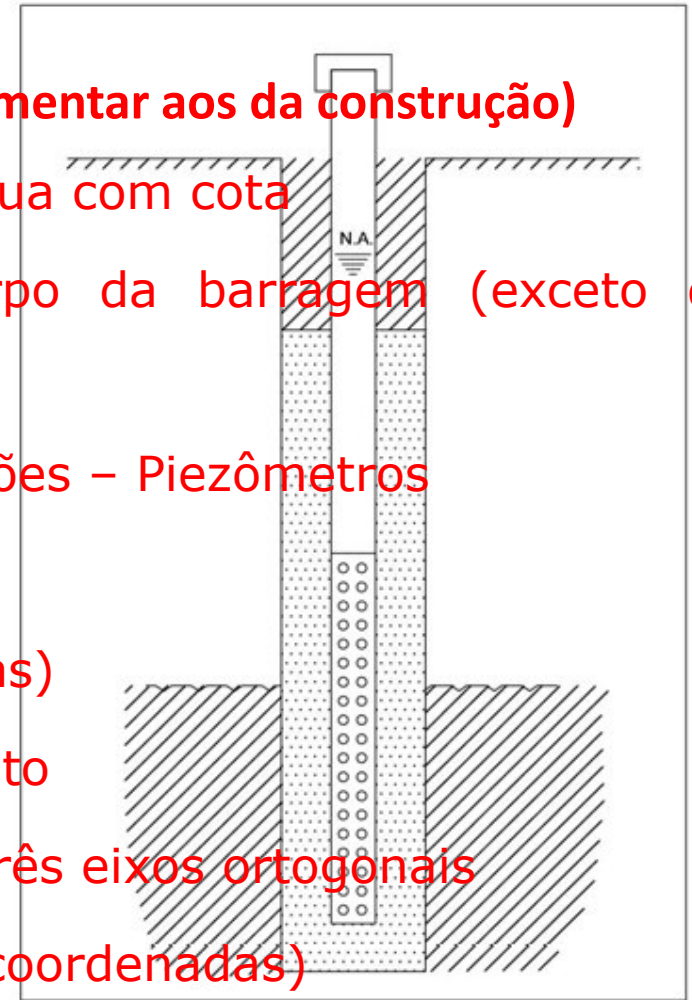
[INSTRUMENTAÇÕES/MONITORAMENTO

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

INSTRUMENTAÇÕES/MONITORAMENTO

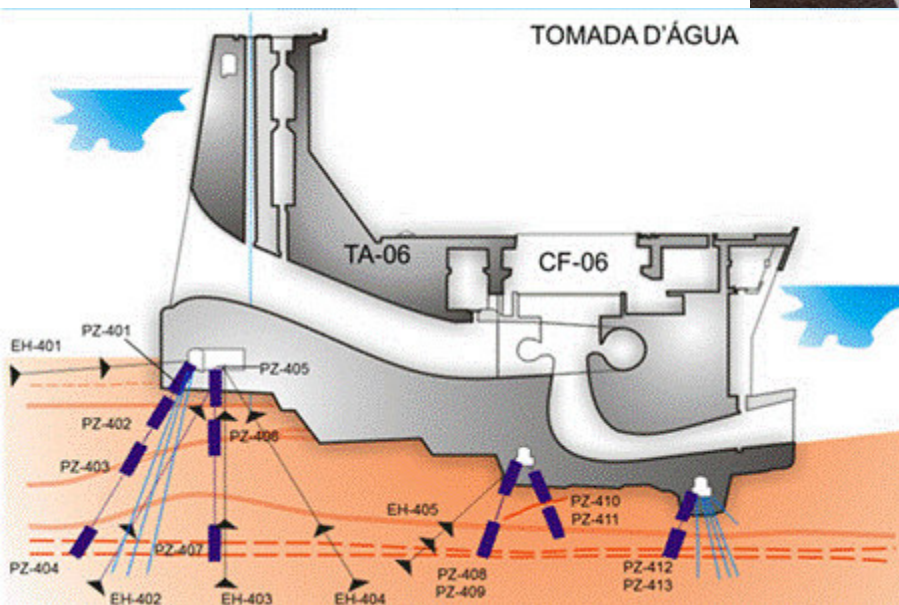
Instalação na construção e na operação (complementar aos da construção)

- Nível d'água no reservatório – Régua com cota
- Nível d'água no interior do corpo da barragem (exceto de concreto) – MNA
- Pressão de água no corpo e fundações – Piezômetros
- Marco superficial
- Inclinômetro (para estruturas rígidas)
- Extensômetros – mede deslocamento
- Triaxial – mede deslocamento em três eixos ortogonais
- Estação total – localização (cota e coordenadas)



SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

INSTRUMENTAÇÕES/MONITORAMENTO

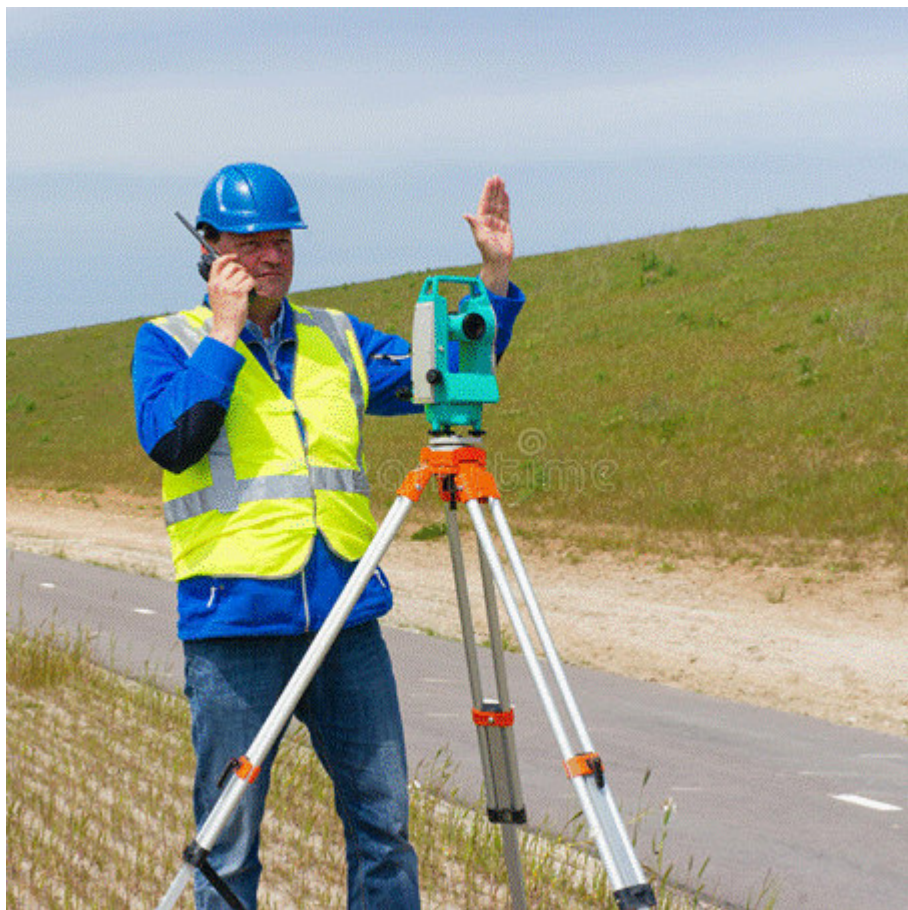


FONTE: <https://contech.eng.br/servicos/servicos-geotecnicos/instrumentacao-em-barragens-piezometro-e-nivel-dagua/>, 2022

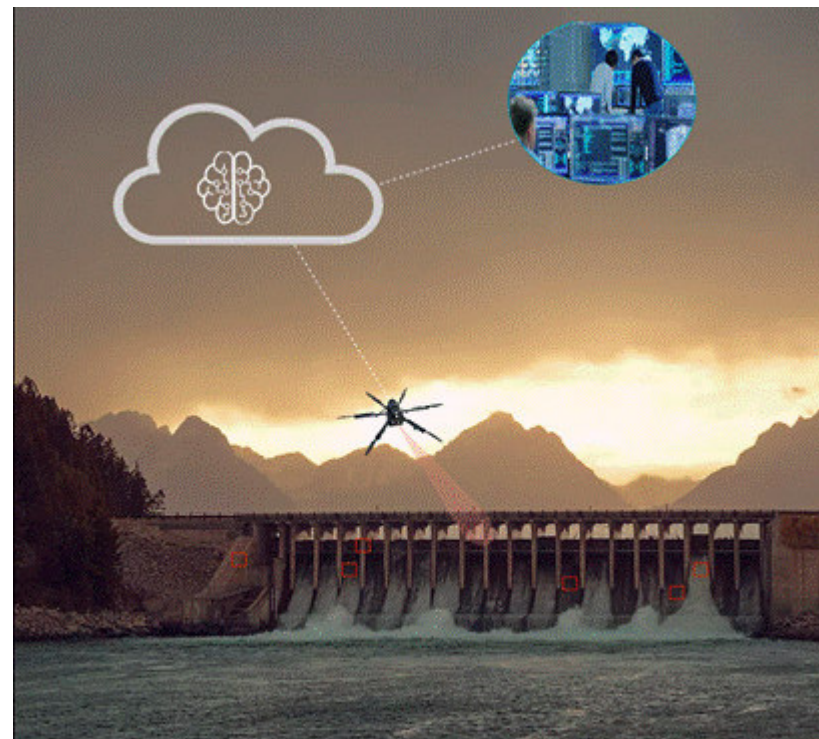
FONTE: <https://sbbengenharia.com.br/index.php/instrumentacao-de-barragens>, 2022

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

INSTRUMENTAÇÕES/MONITORAMENTO



FONTE: <https://pt.dreamstime.com/fotografia-de-stock-royalty-free-coordenador-e-esta%C3%A7%C3%A3o-ou-teodolito-total-image31366447>, 2022



FONTE: <https://www.nac.fr/wp-content/uploads/2019/09/5d77b09b742a7.png>, 2022

[AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



FONTE: IPT - 301-21280, 2021



Barragem Beicht

FONTE: Carla A. de S. Liberato e Joaquim C. Júnior, 2019

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



Barragem PCH de Pirapora

FONTE: Alessandro F. C. e Tatiane S. de Queiroz, 2019



SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



Barragem de Lindoia – Grande Lago
FONTE: IPT, 2020



CLASSIFICAÇÃO SEGURANÇA DA BARRAGEM

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

Critérios Gerais: Lei 12.334/2010 Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)

Requer a elaboração do PNSB:

I- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros); ou

II- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos); ou

III- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; ou

IV- Categoria do DPA: médio ou alto (econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas)

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DAS BARRAGENS: Artigo 7º da Lei 12.334/2010 e 14.066/2020, são classificadas por Categoria de Risco (CRI) e por Dano Potencial Associado (DPA)

CrITÉrios Gerais: Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) - Resolução CNRH 143, de 10 de julho de 2012

Órgão Fiscalizadores: criaram Matrizes de Classificação – CRI e DPA

Grupos: A, B ou C - ANEEL

A, B, C ou D - ANA e DAEE

A, B, C, D ou E – ANM e CETESB

Letra A: risco maior

Letra E: risco menor

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

Matrizes de Classificação:

Categoria de Risco (**CRI**) e Dano Potencial Associado (**DPA**)

		DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA ANA – Resolução 236/2017 DAEE - Portaria 3.907/2015-2017		
CATEGORIA DE RISCO - CRI		ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO		A	B	C
MÉDIO		A	C	D
BAIXO		A	D	D

		DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA ANEEL – Resolução Normativa 696/2015		
CATEGORIA DE RISCO - CRI		ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO		A	B	B
MÉDIO		B	C	C
BAIXO		B	C	C

		DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA ANM – Resolução 70.389/2017		
CATEGORIA DE RISCO - CRI		ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO		A	B	C
MÉDIO		B	C	D
BAIXO		B	C	E

		DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA CETESB - DD 279/2015/C		
CATEGORIA DE RISCO - CRI		ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO		A	A	B
MÉDIO		A	B	C
BAIXO		B	C	D

FONTE: São Paulo: SIMA, 2019

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	
Empreendedor	
Nome da barragem	Data

2. CATEGORIA DE RISCO	
Pontuação	Pontos
Quadro 1 – Características Técnicas -CT	
Quadro 2 – Estado de Conservação -EC	
Quadro 3 – Plano de Segurança de Barragens -PS	
Pontuação Total (CRI) = CT + EC + PS	

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

Pontuação das **Características Técnicas - CT**
para classificação da **CATEGORIA DE RISCO -CRI**

Características Técnicas	Discriminação	Pontos	Pontuação do CT
Altura (H)	$H \leq 15$ m	0	
	$15 \text{ m} < H < 30$ m	1	
	$30 \text{ m} \leq H \leq 60$ m	2	
	$H > 60$ m	3	
Comprimento (L)	$L \leq 200$ m	2	
	$L > 200$ m	3	
Tipo de Barragem quanto ao material de construção	Concreto convencional	1	
	Alvenaria de pedra/concreto ciclópico/ concreto rolado - CCR	2	
	Terra homogênea/enrocamento/terra enrocamento	3	
Tipo de fundação	Rocha sã	1	
	Rocha alterada dura com tratamento	2	
	Rocha alterada sem tratamento/rocha alterada fraturada com tratamento	3	
	Rocha alterada mole/saprólito/solo compacto	4	
	Solo residual/aluvião	5	

Parte da Resolução DAEE 1634

FONTE: Resolução DAEE 1634 – 10/03/2021

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS

Classificação CRI		Faixa de pontos do CRI
Alto		$\text{CRI} \geq 60$ ou $\text{EC}^{(*)} \geq 8$
Médio		$35 < \text{CRI} < 60$
Baixo		$\text{CRI} \leq 35$

Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado

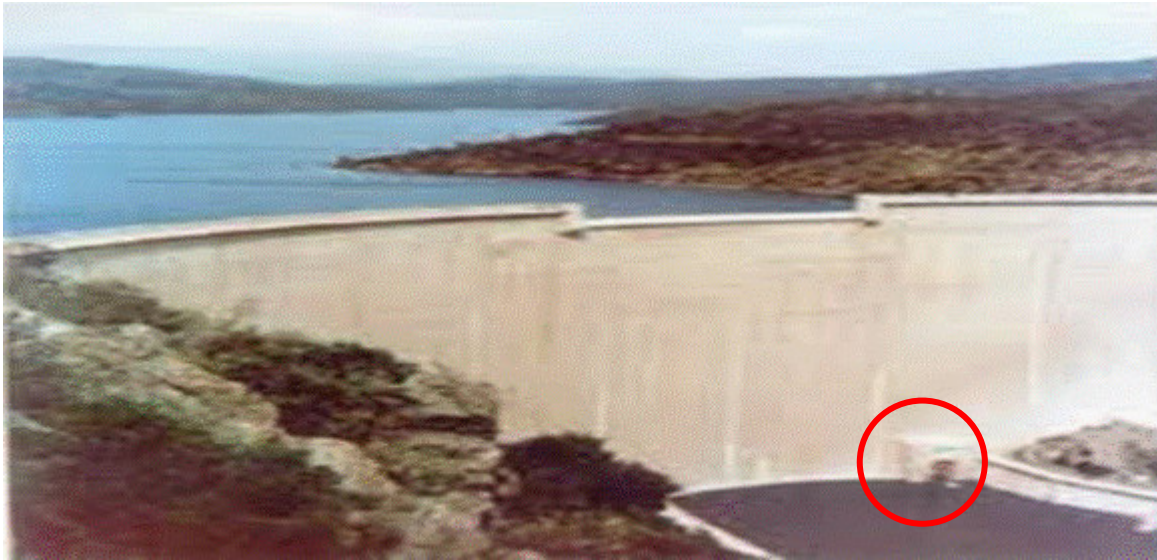
Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	A	B
Médio	B	B	C
Baixo	C	C	D

(*) Pontuação ≥ 8 em qualquer coluna de EC implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

FONTE: Resolução DAEE 1634 – 10/03/2021

[COLAPSO DE BARRAGENS

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



Barragem Malpasset , França – 02/12/1959
FONTE: Armando Mariano, Giulio Scapineli e Fábio Ferrão , 2019



SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



(a)

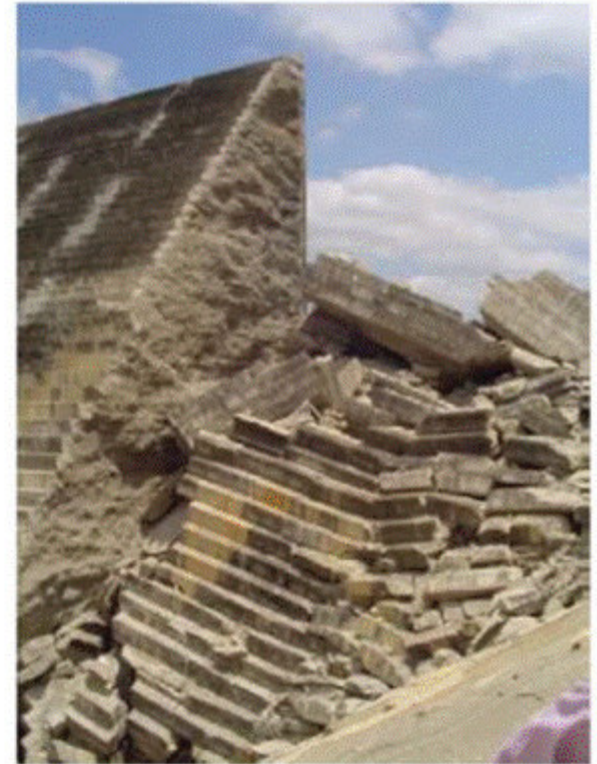


(b)

Barragem de Vajont, Itália – 09/10/1963

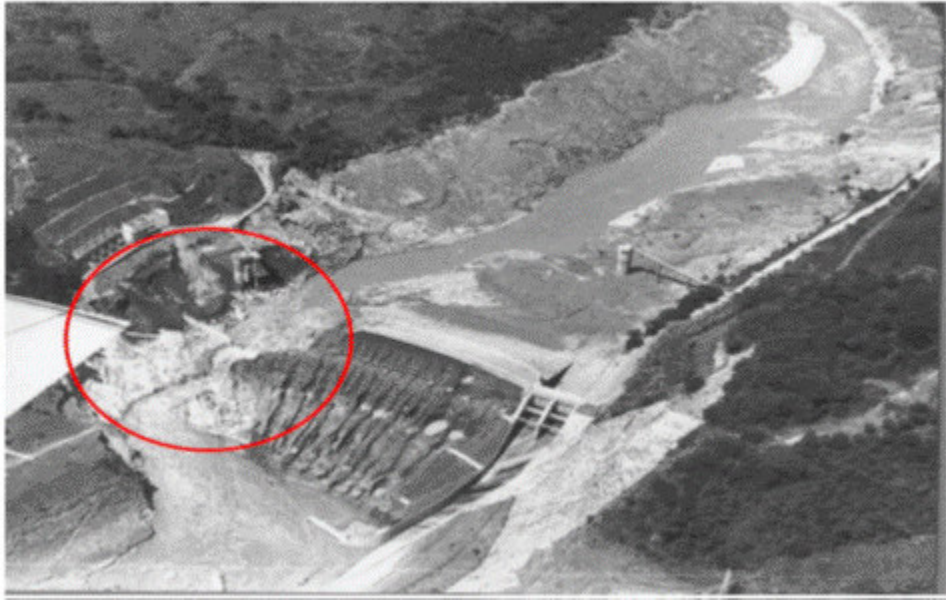
FONTE: Jonathan B. Moreira e José W. C. Souza Jr, 2019

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



Barragem Camará, PB – junho, 2004
FONTE: Francisco Sousa e José Mendes, 2019

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



Barragem de Terra – Euclides da Cunha - 20/01/1977

FONTE: Aloysio Portugal Maia Saliba, 2009



Barragem Limoeiro, SP – 20/01/1977 (1/2 hora depois)

FONTE: Carlos E. M. de Sousa e Douglas de O. Reis, 2019

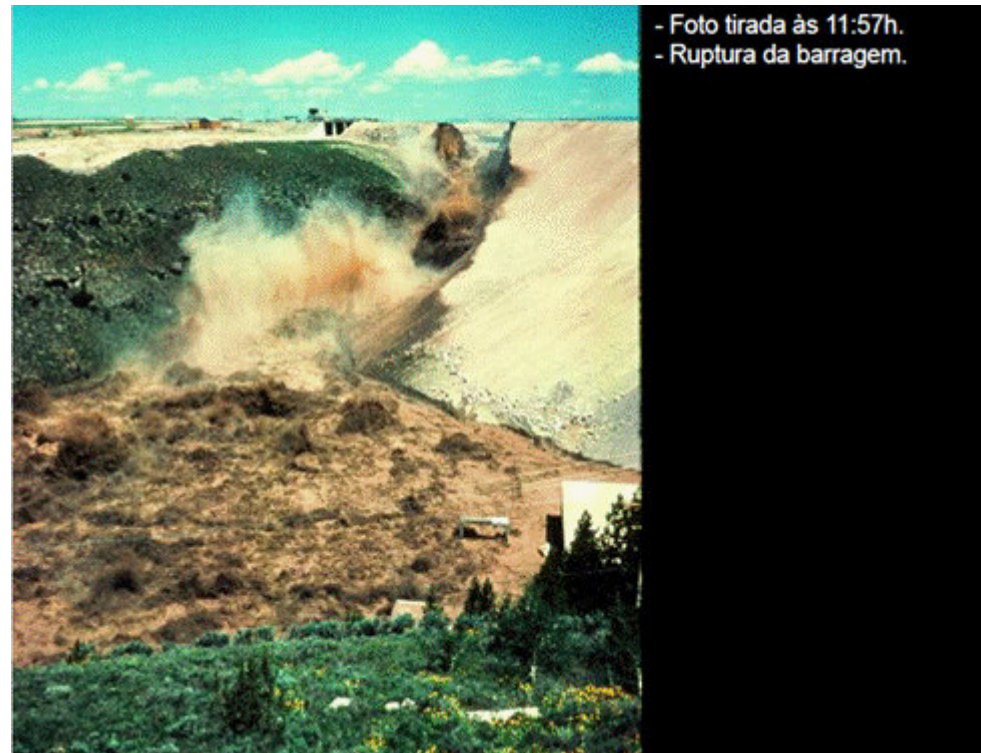
SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



Barragem Teton, EUA, março/1976

FONTE: Jaime Machado, Marila Lima Mendes, Priscila D. D. Ferracini, , 2019

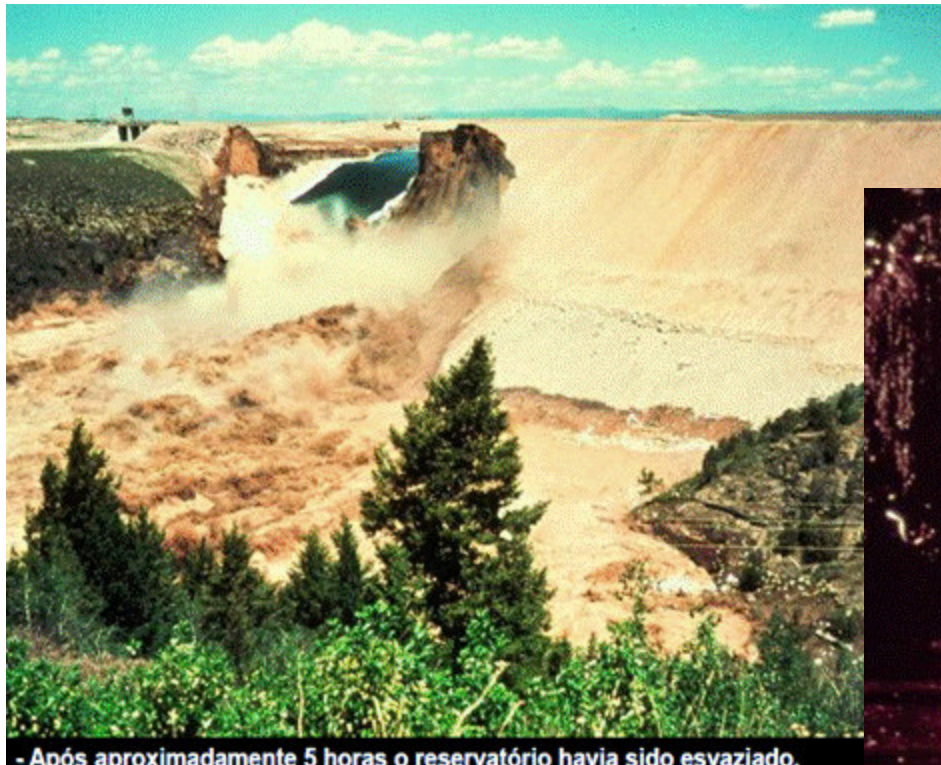
SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



Barragem Teaton, EUA, março/1976

FONTE: Jaime Machado, Marila Lima Mendes, Priscila D. D. Ferracini, , 2019

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



Barragem Teaton, EUA, março/1976

FONTE: Jaime Machado, Marila Lima Mendes, Priscila D. D. Ferracini, , 2019

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS



Barragem Córrego do Fundão – Mariana - MG

FONTE: Fundão Tailings Dam Review Panel (Morgenstern, Vick, Viotti, Watts, 2016)

Seu desafio é nosso.

OBRIGADO

Wilson Iyomasa: wsi@ipt.br