

# **IBRAM 2022**

## **Curso Mineração para Jornalistas – Etapa 2**

# **Barragem de Rejeitos**

**Geól. Paulo C. Abrão**

**8/11/2022**

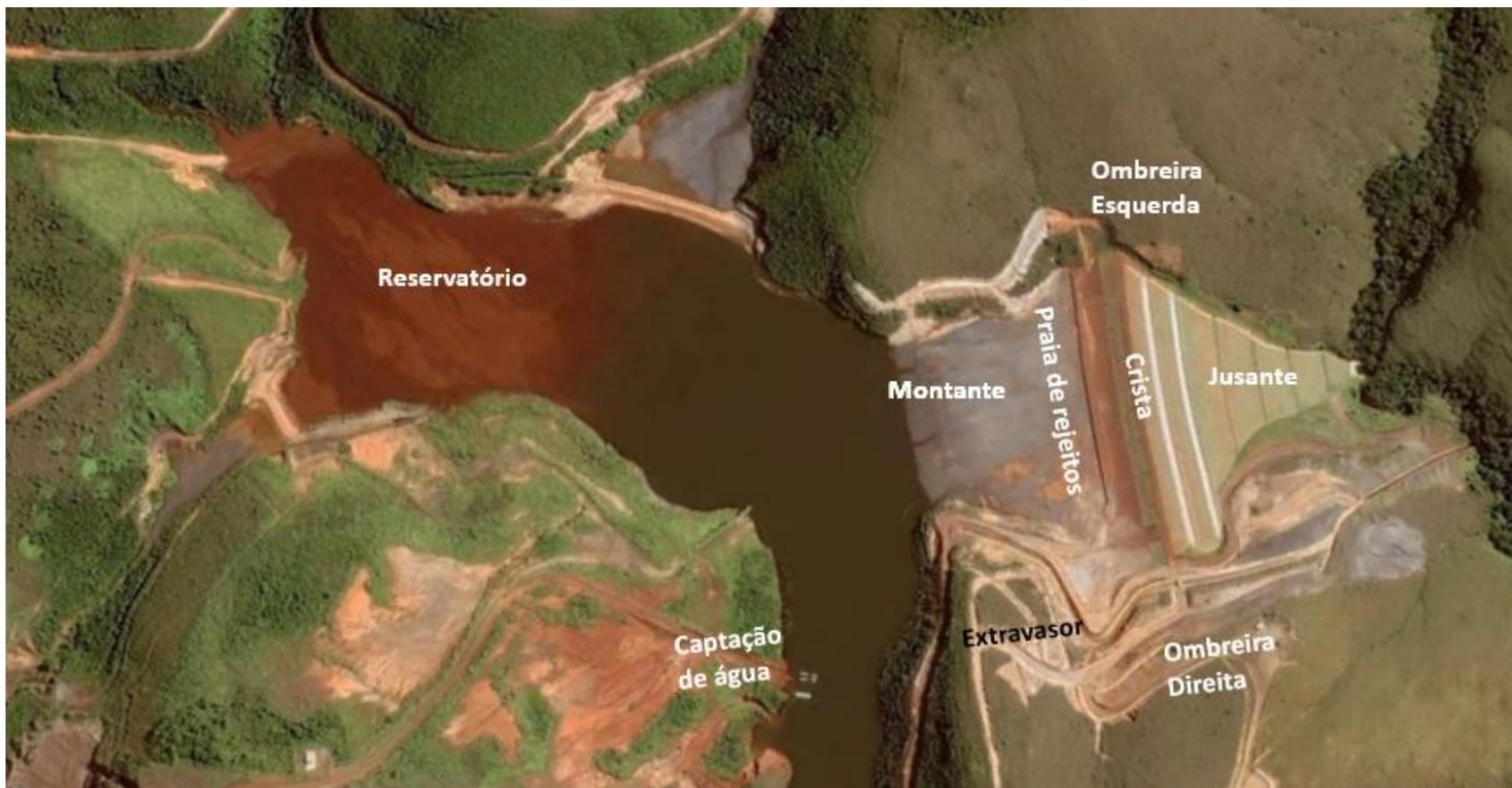
## Itens que serão abordados:

- Introdução: termos, conceitos (3 a 16)
- Geração, tipos e quantidades de rejeitos (17, 18)
- Formas de descarte dos rejeitos (19)
- Formas de contenção (20 a 25)
- Tipos de barragens e alteamentos (26 a 30)
- Instrumentação (31 a 36)
- Ciclo de vida (37)
- Fechamento ou abandono (38, 39)
- Segurança e ruptura das barragens e pilhas (40 a 51)
- Legislação nacional e internacional (52)

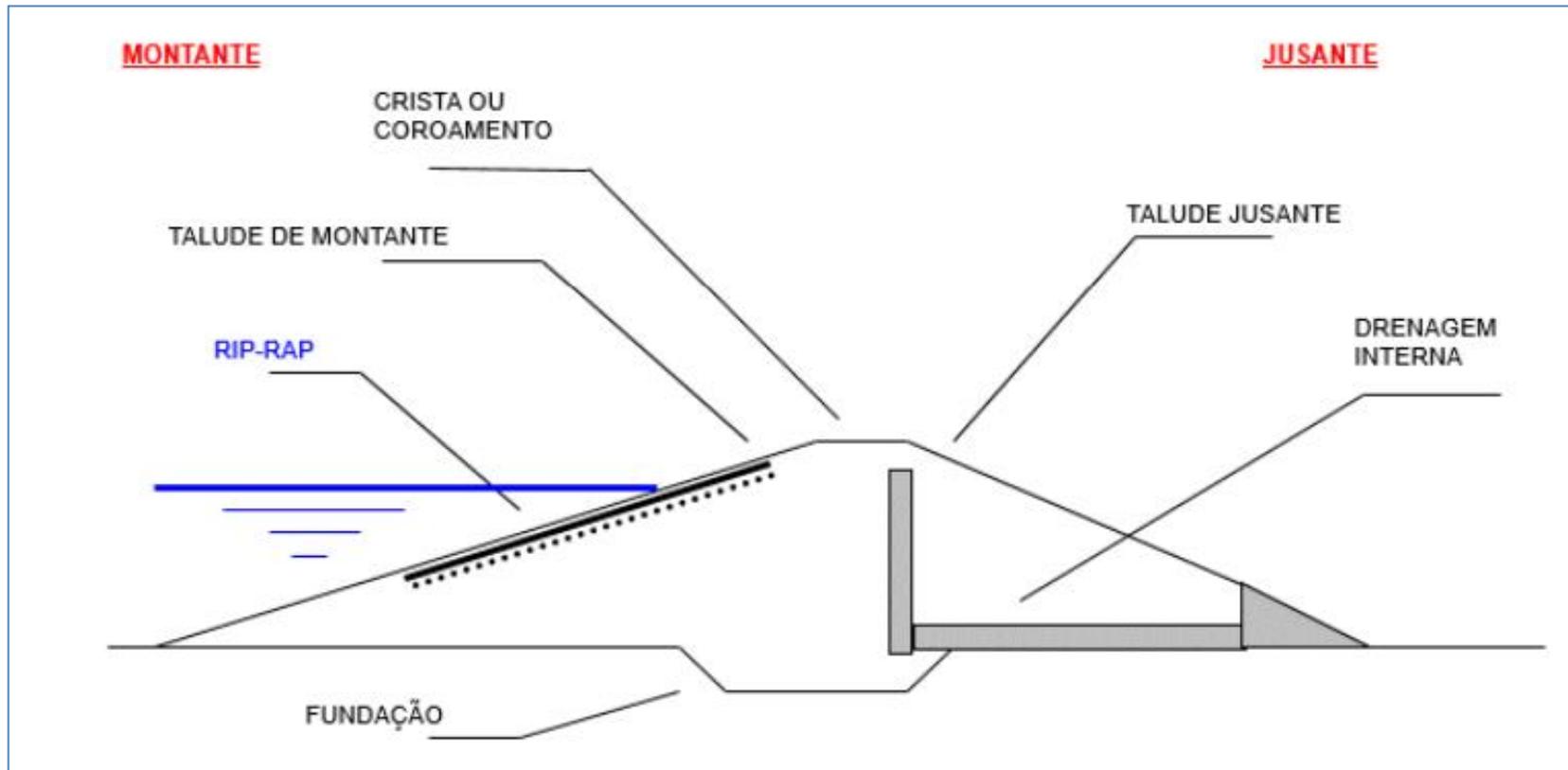
## Barragens de rejeitos – cuidado com a redação

- Barragens de rejeitos – barragens construídas com rejeitos – se refere ao material de construção; tipo de preposição “de constituição”.
- Barragens para contenção de rejeitos – se refere à sua finalidade; tipo de preposição “de finalidade”.
- Em geral observa-se que, na prática, o uso é indiscriminado. Por exemplo, usa-se “barragem de rejeitos” tanto para indicar sua constituição como para indicar sua finalidade.
- No entanto julga-se adequado conhecer a diferença.

## Barragens: componentes e orientação (planta)



## Barragens: componentes e orientação (seção)



(Ref. - Carlos H. Medeiros, 2017 – Curso)

## Mineração e Transformação mineral

### Rejeitos, estéril, minério, mina, planta de concentração

- Mineração: atividade que se ocupa da extração e concentração de determinado minério
- Transformação: transforma o concentrado em produto de uso industrial
- Exemplo:
  - Mineração de fosfato – lava o minério de fosfato e concentra a apatita (e descarta os rejeitos)
  - Transformação – transforma a apatita em ácido fosfórico (e descarta o resíduo = fosfogesso, que no Brasil é sub-produto)

## Mineração (mina)



## Mineração (concentração)

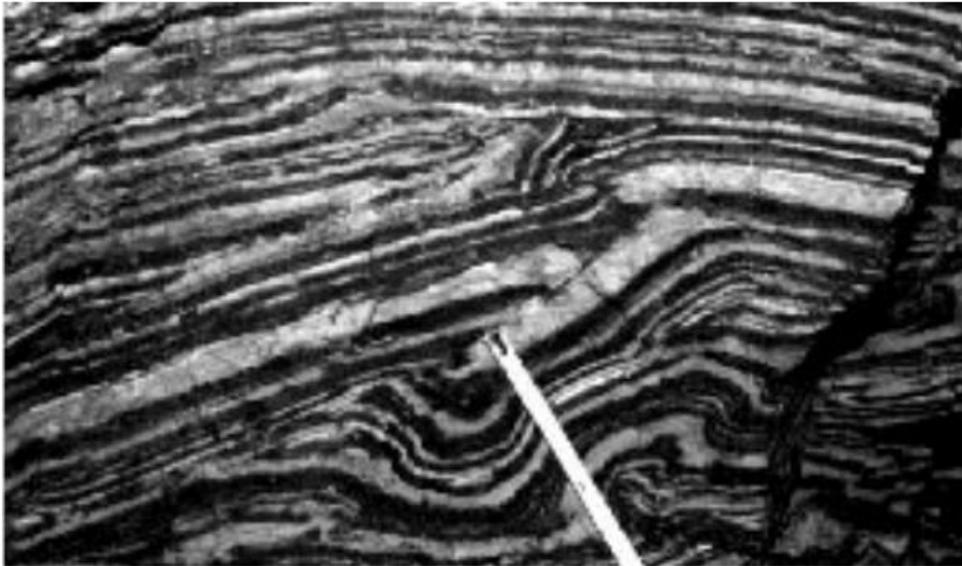


## Transformação mineral



## Minério, Mineral

Mineral – quartzo



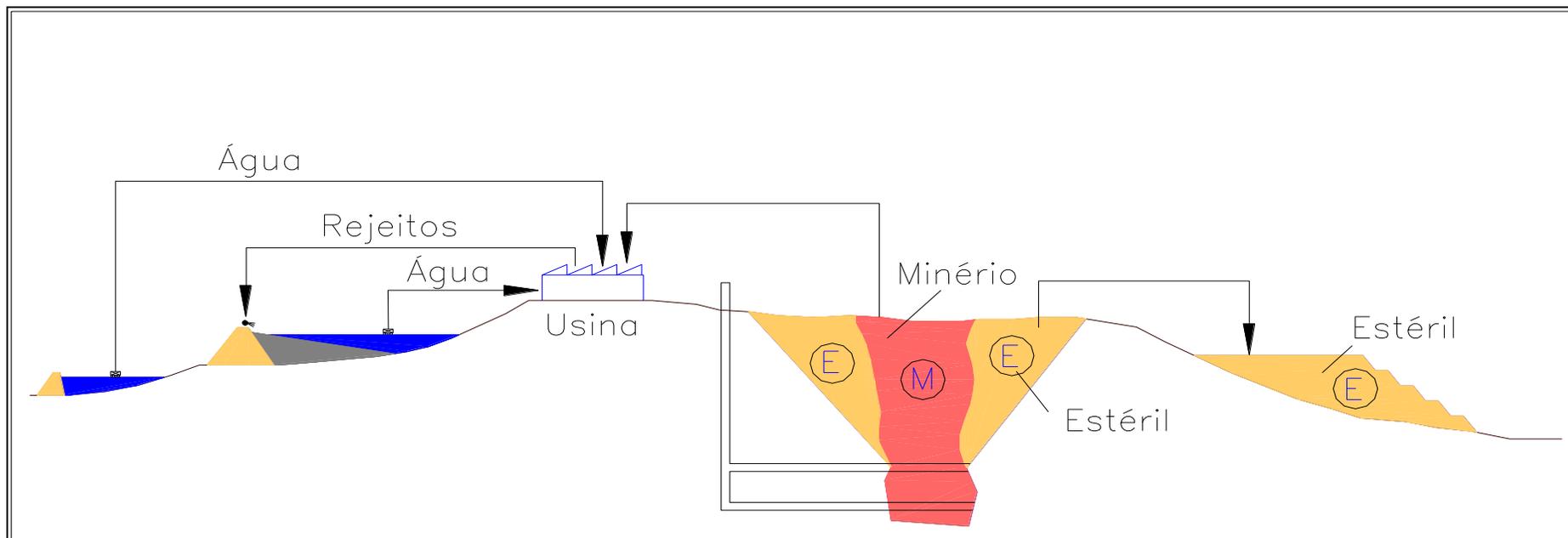
**Itabirito – hematita + quartzo**

(Ref. Rosière e Chemale, IG-UFMG)

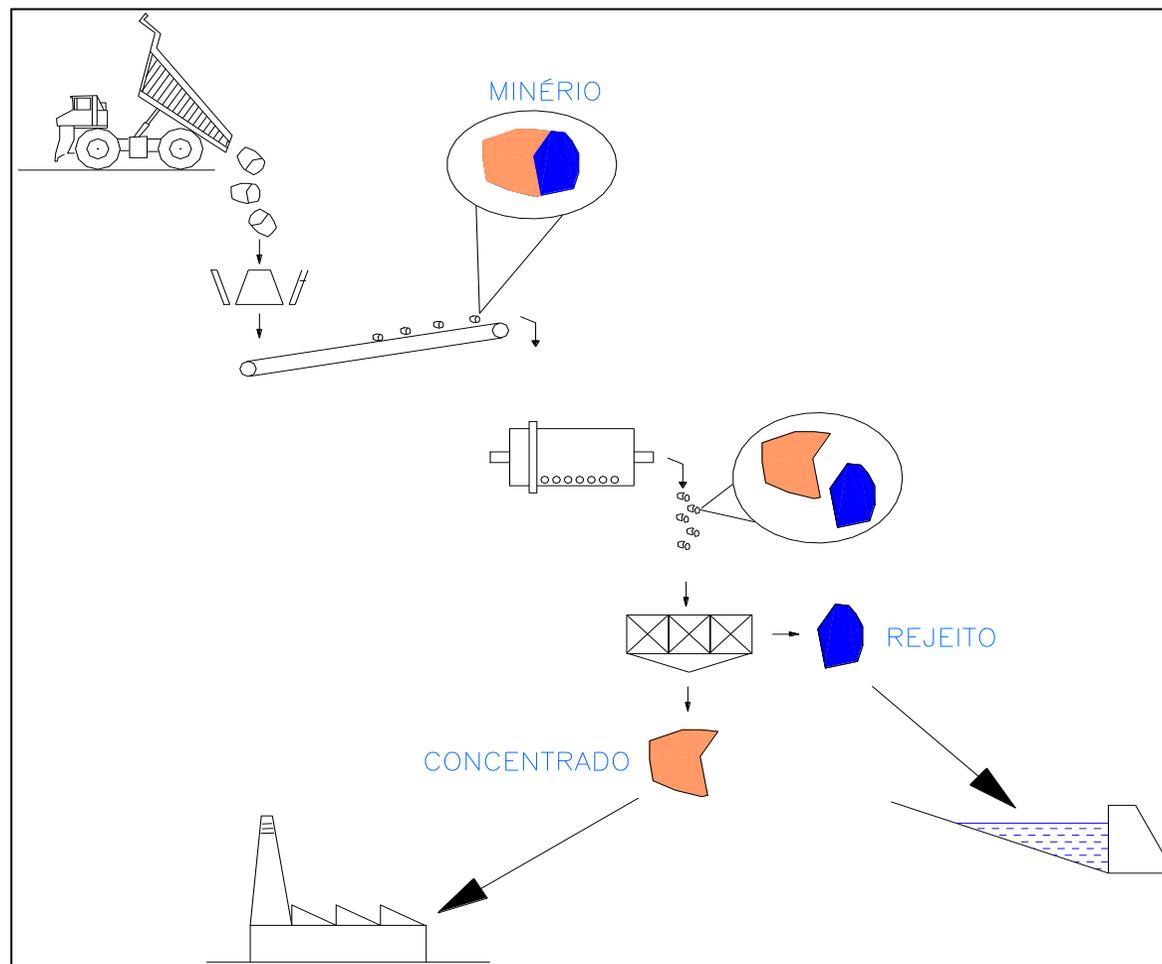
Mineral – hematita



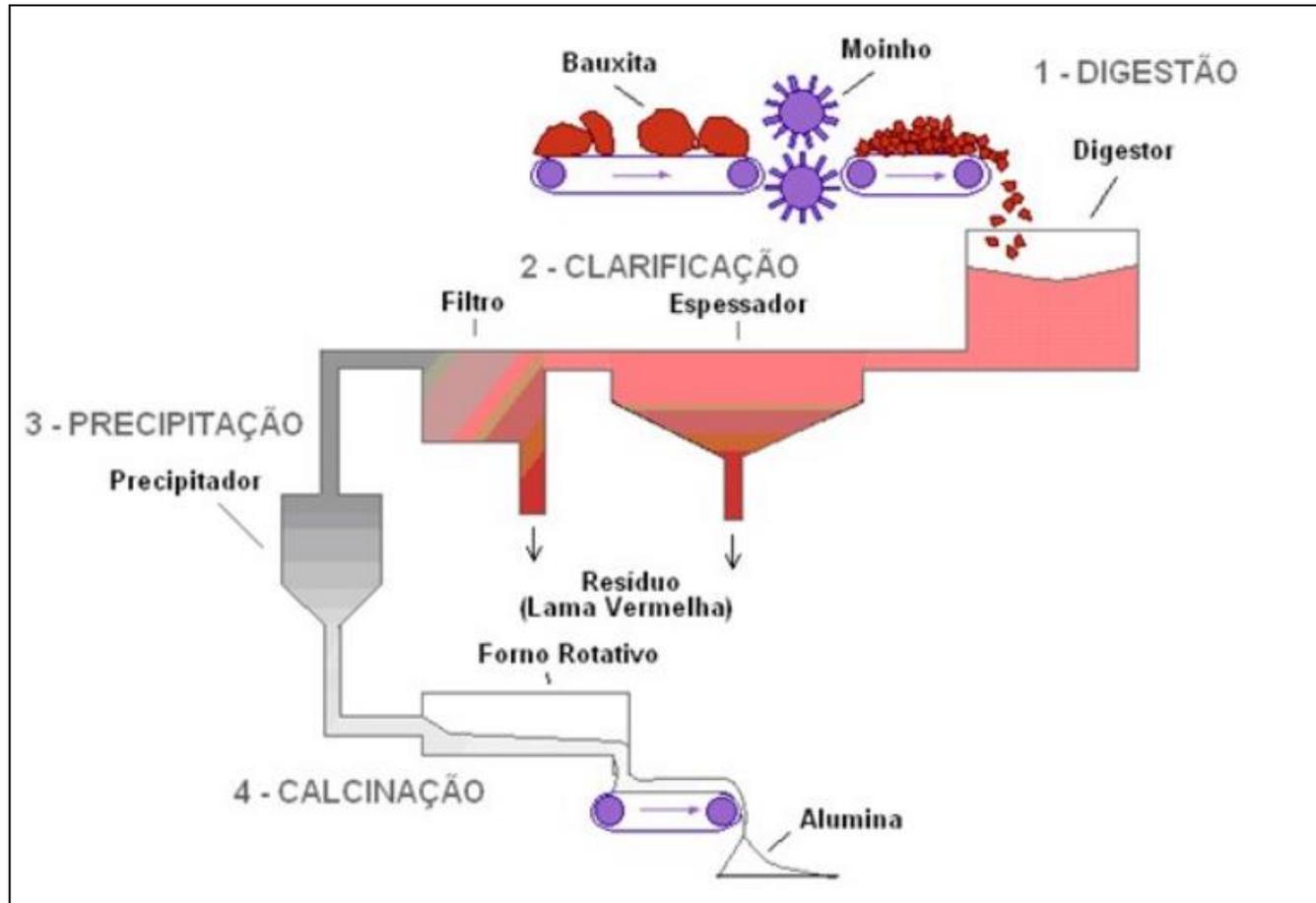
## Rejeito, Estéril



# Rejeito



# Resíduo



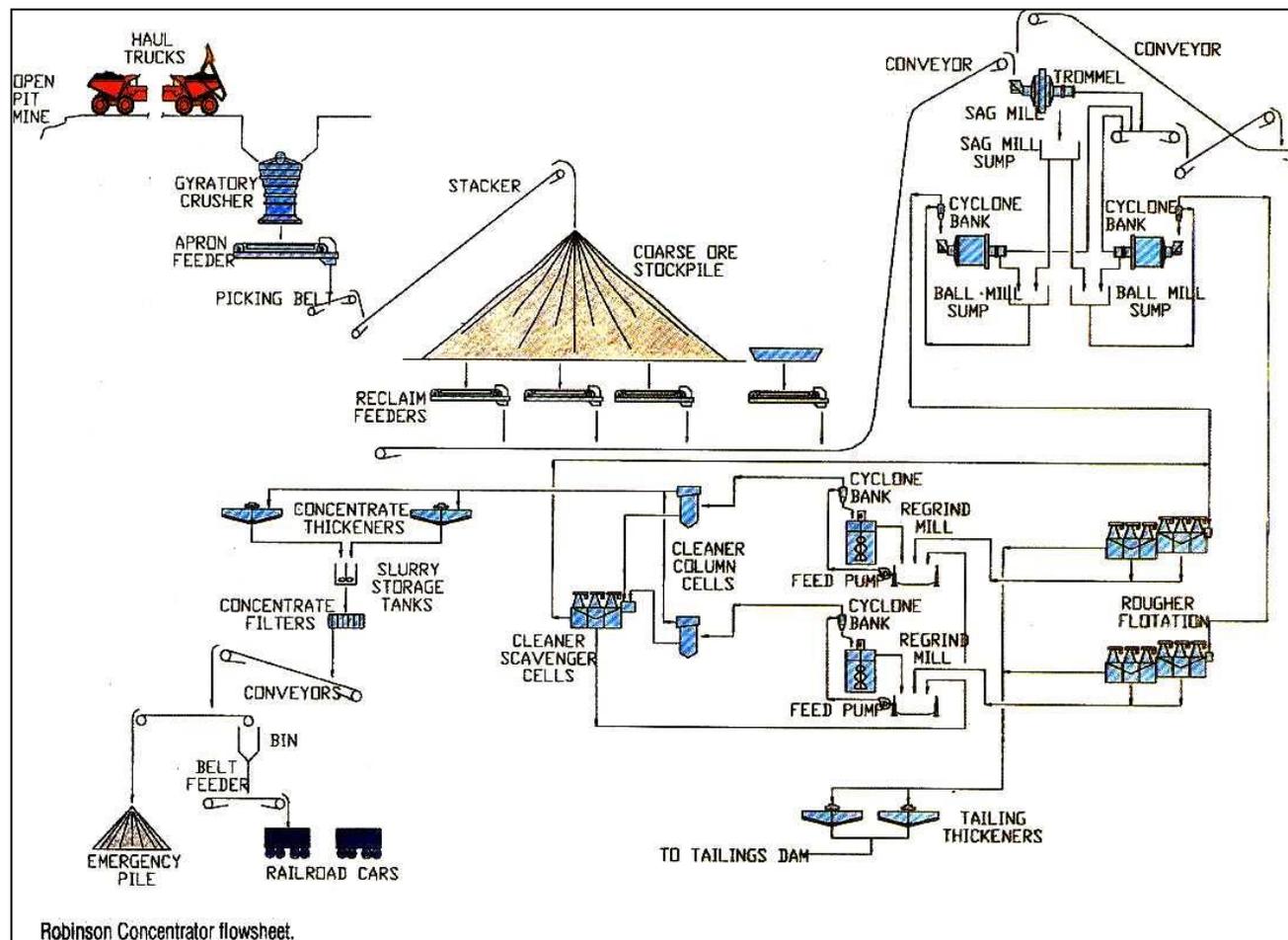
## Mina a céu aberto



## Mina Subterrânea



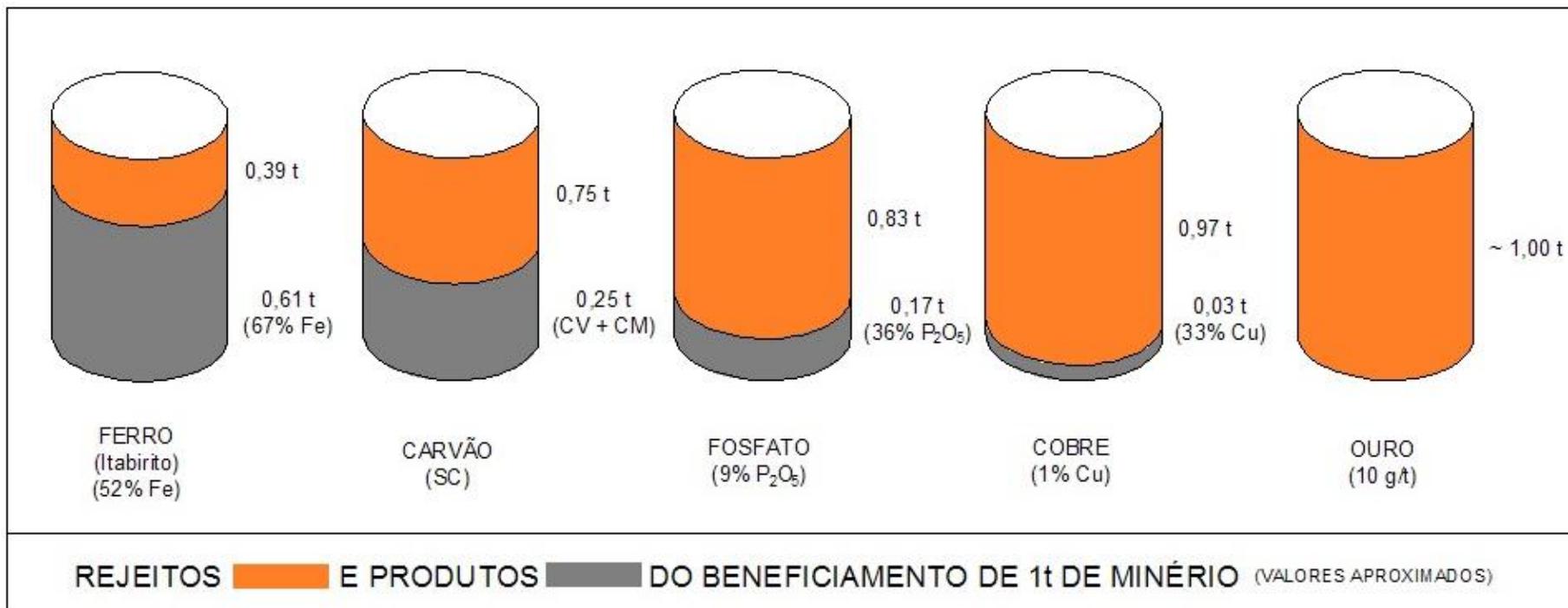
# Geração dos rejeitos



## Geração, tipos e quantidades de rejeitos

- Tomando por base o Anuário Mineral Brasileiro – 2019 e o estudo do IPEA (2012), que trabalhou com dados de 2005, estima-se que o Brasil pode estar gerando em 2022 cerca de 500 Mtpa de rejeitos.
- Para o cálculo de 2019 considera-se como rejeito a diferença entre a produção bruta e a produção beneficiada.

## Proporção dos rejeitos para vários tipos de minérios



## Formas de descarte dos rejeitos



## Formas de contenção – com barragens em vales



## Formas de contenção – com diques em áreas planas



## Formas de contenção – em lagos



## Formas de contenção – em rios



## Formas de contenção – em cavas exauridas



(Ref. SRK)

## Formas de contenção – pilhas de rejeitos



## Tipos de barragens – enrocamento com face de concreto



### Mina Escondida, Chile

(Peter White)



## Tipos de barragens – terra compactada



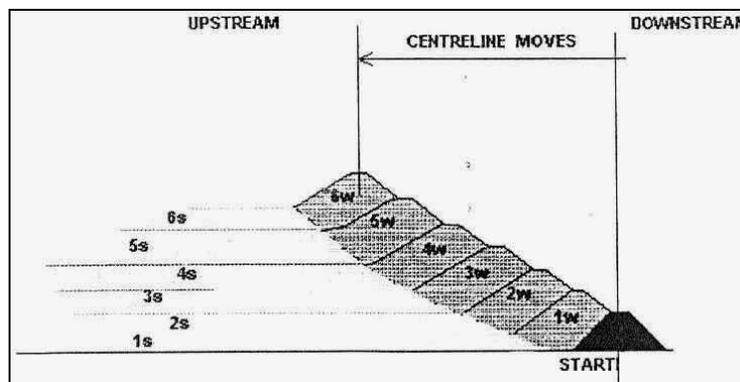
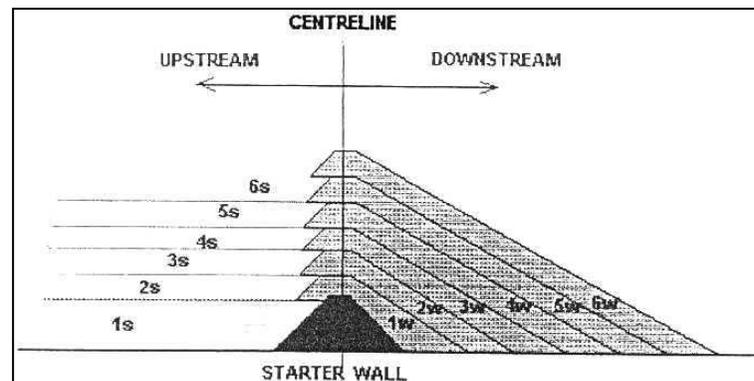
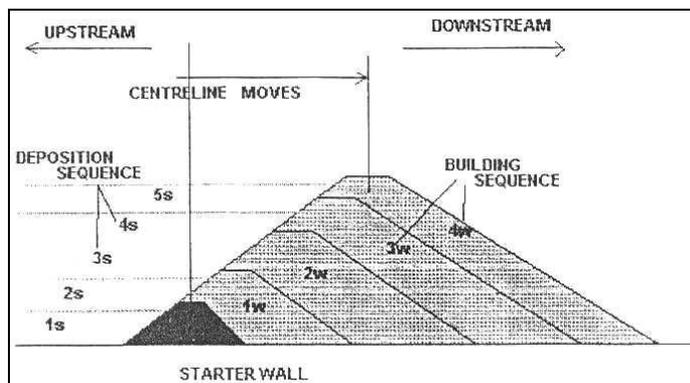
## Tipos de barragens – enrocamento



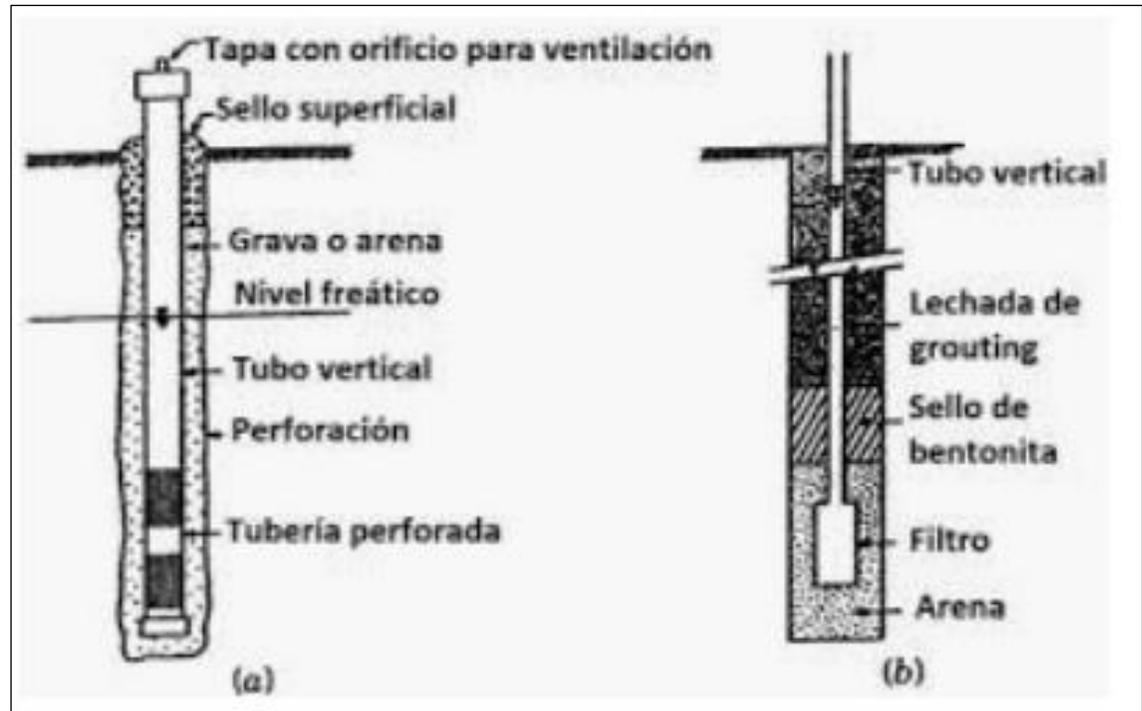
## Tipos de barragens – rejeitos compactados



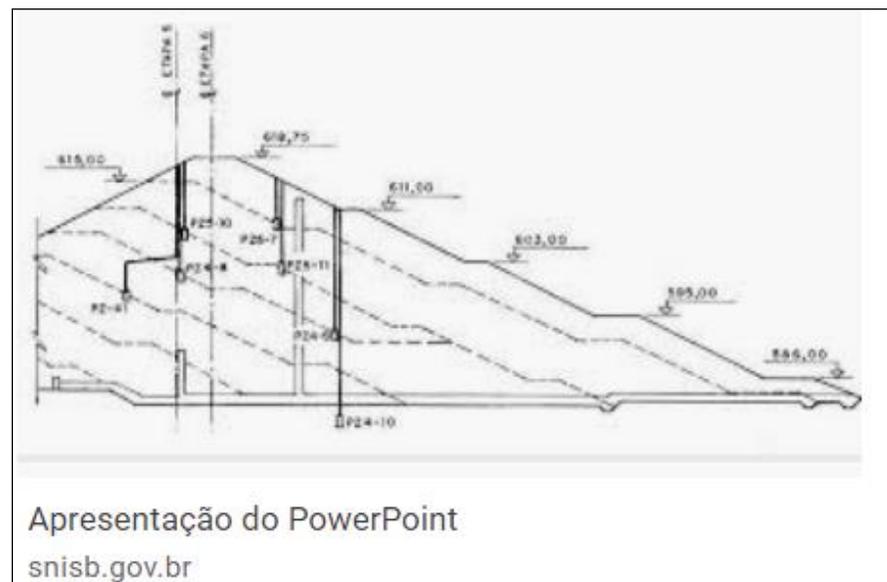
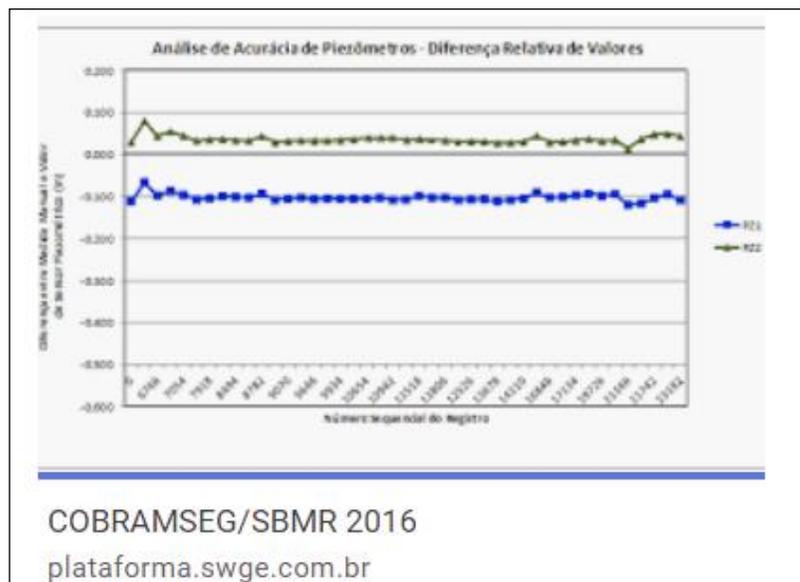
# Métodos de alteamento de barragens



## Instrumentação das barragens: piezômetros



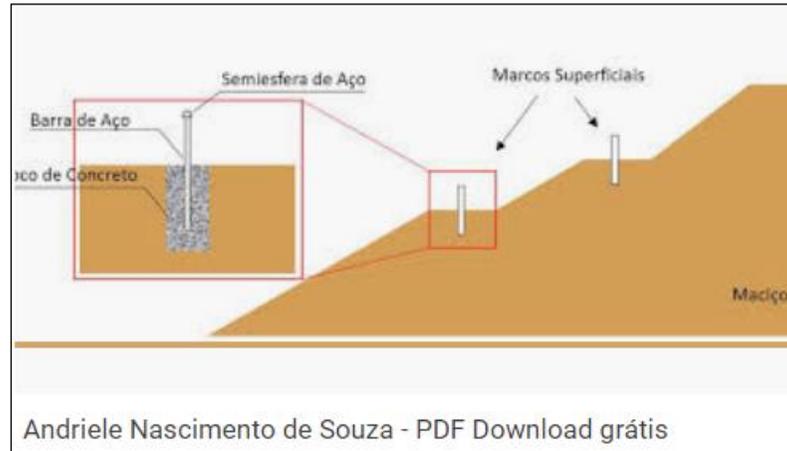
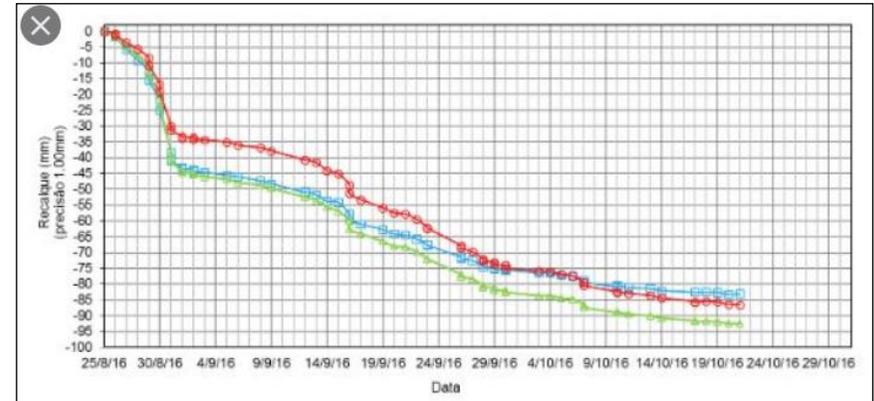
## Instrumentação das barragens: piezômetros – gráficos e seções



# Instrumentação das barragens: marcos superficiais



Serviços - Delgado Topografia  
delgadotopografia.com.br

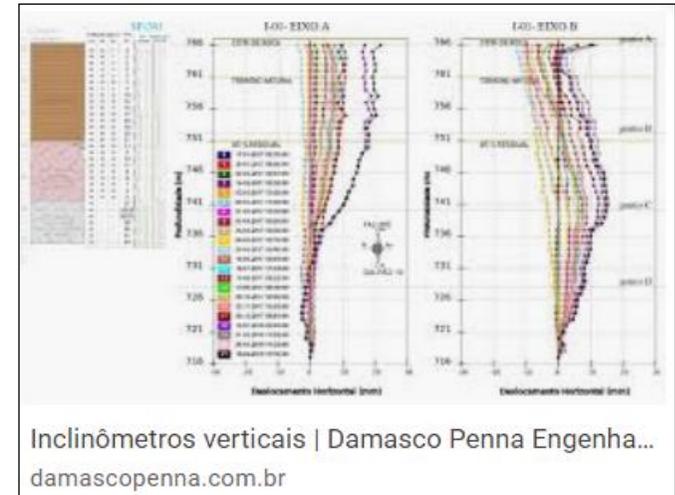
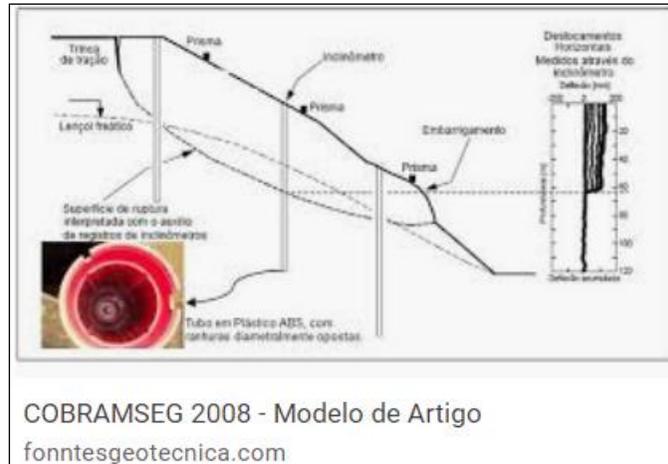


Andriele Nascimento de Souza - PDF Download grátis

# Instrumentação das barragens: inclinômetros



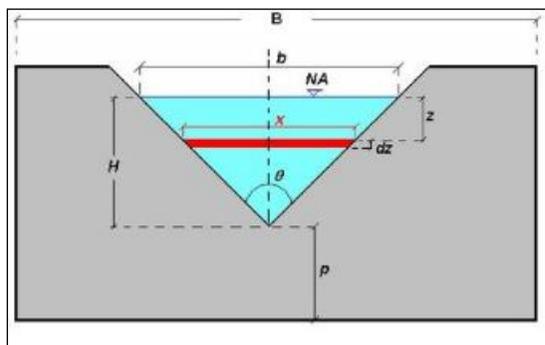
INCLINÔMETRO  
engeground.com.br



# Instrumentação das barragens: medidores de vazão do dreno de fundo



Instrumentação | ISB  
isbgeo.com.br



### Vertedor Trapezoidal

Tem a forma de um trapézio de largura menor L e altura H. É considerado como sendo formado por um vertedor retangular e dois triangulares.

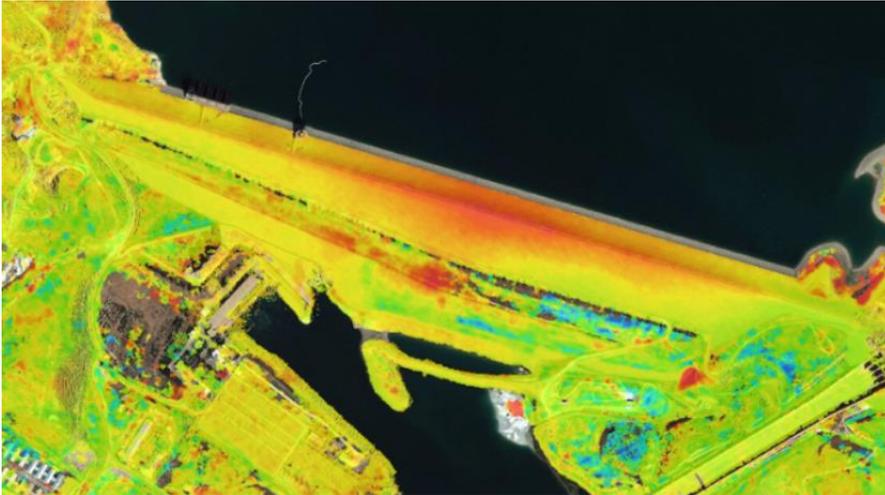
O trapézio é usado para compensar o decréscimo de vazão que se observa devido às contrações.

$$Q = Q_2 + 2Q_1$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} M^{3/2} + 2 \frac{4}{15} C_d \sqrt{2g} \psi \left( \frac{H}{2} \right) M^{5/2}$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d \left( 1 + \frac{2M}{10} \right) \sqrt{2g} M^{3/2}$$

## Instrumentação das barragens: satélites, radares



## Ciclo de vida das barragens ou depósitos



### Evolução da abordagem:

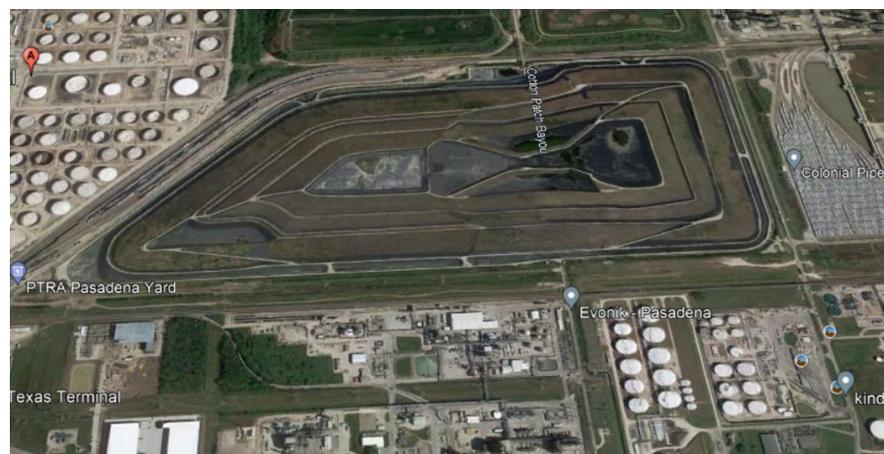
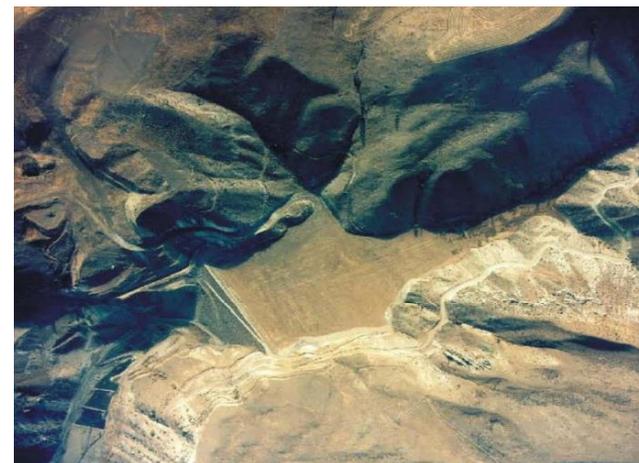
**Projetar para a construção e operação**

**Projetar para o fechamento**

**Operar para o fechamento**

**Fechamento progressivo**

## Fechamento



## Abandonados



## Segurança das barragens e pilhas de rejeitos

- As barragens e pilhas, para serem seguras:
  - Devem ser bem projetadas
  - Devem ser bem construídas
  - Devem ser bem operadas
  - Devem ser bem fechadas
  
- Algumas boas práticas:
  - Revisar o projeto por empresa independente e experiente
  - A Projetista deve manter um Engenheiro em tempo integral durante a construção
  - Acompanhamento continuado do comportamento da barragem

## Ruptura de barragens e pilhas de rejeitos

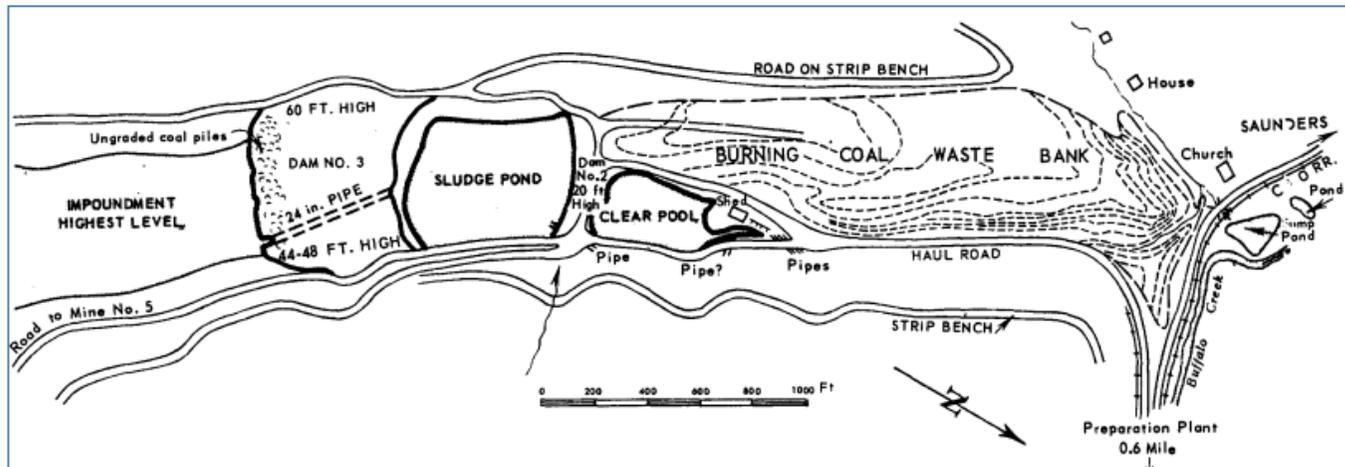
### Os modos de rupturas:

- Galgamento (a água passa sobre a crista da barragem)
- Erosão interna (fluxo de água no aterro remove os sólidos)
- Cisalhamento:
  - em condições drenadas
  - em condições não drenadas
  - em condições não drenadas, com liquefação

## Ruptura da Bar. da Mineração CRS, Analândia,(2011) - Galgamento



# Ruptura da Bar. Buffalo Creek, VA,(1972) - Galgamento



## Ruptura de barragem – erosão interna



created by Jeffrey A. Tarron  
via Mike King Demographic.org Website  
http://www.demographic.org

## Ruptura da barragem Waco Dam, Texas, 1961 – cisalhamento drenado



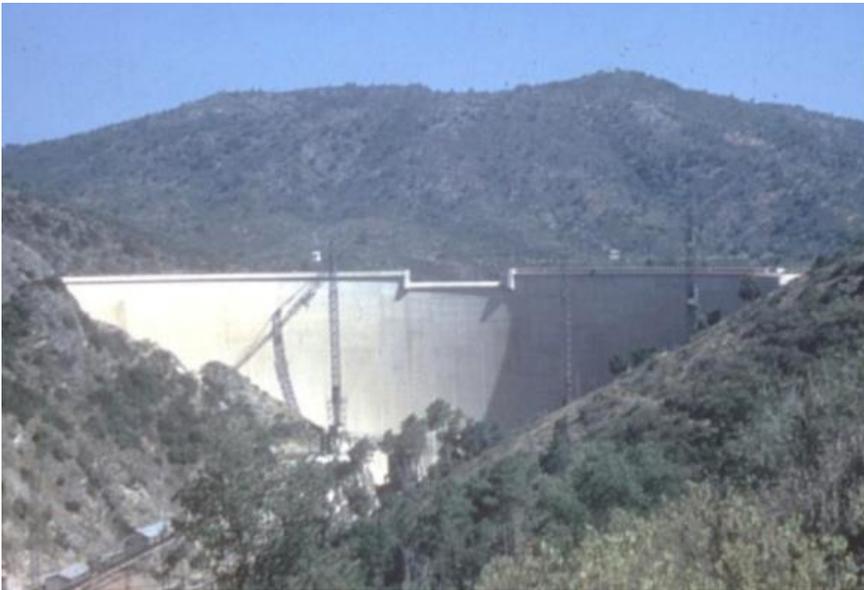
## Ruptura da barragem Cadia mine, Australia - 2018 – cisalhamento não drenado



## Ruptura da barragem de Brumadinho, MG - 2019 – cisalhamento não drenado, com liquefação



## Ruptura de barragem de concreto – Malpasset, França, 1959



(Pierre Duffaut, 2013)



## Ruptura de barragem de concreto – St. Francis, USA, 1928



## Ruptura de pilha de rejeitos – Aberfan, UK, 1966



## Ruptura de barragem de rejeitos de Mufulira mine, Zambia, 1970



## Legislação e Diretrizes internacionais

### 1. Federal

- Resolução ANM Nº 95, de 7/2/2022
- Lei Nº 14.066, de 30/9/2020
- Lei 12.334, de 20/9/2010

### 2. Estaduais

Cada Estado tem sua legislação específica

### 3. Diretrizes

- GISTM – Global Industry Standard on Tailings Management (ICMM/UM/PRI)
- CDA – Canadian Dam Association - Dam Safety Guidelines
- ICOLD – International Commission on Large Dams - bulletins

**MUITO OBRIGADO**