

Perícia em Queda de Barragem de Rejeitos em MG - Uma história que vem se repetindo há mais de 20 anos



Palestrante:

Francisco Maia Neto
Engenheiro e Advogado

**Ex-Presidente do IBAPE/MG
e do IBAPE Nacional**

Normas e regulamentos estudados

- ☑ NBR-13.028/93 – (Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração);
- ☑ CNEN-NE-1.10/80 – (Segurança de Sistemas de Barragem de Rejeitos Contendo Radionuclídeos)
- ☑ Guia Básico de Segurança de Barragens (CBDB/1999)

O solo como material de construção

“...o solo é capaz de exercer função de material de construção...”

“ Na estabilização mecânica, a granulometria do solo é conservada ou corrigida pela mistura com um ou mais solos, antes da compactação, procurando-se assim aumentar a coesão ou ângulo de atrito interno, ou ambos parâmetros.

Na estabilização por adição de aglutinantes, junta-se ao solo uma substância que aumenta a sua coesão ou que impermeabilize, impedindo a diminuição de sua resistência pela ação da água. Os produtos mais utilizados para essa finalidade são o cimento, a cal, os betumes e produtos químicos.”

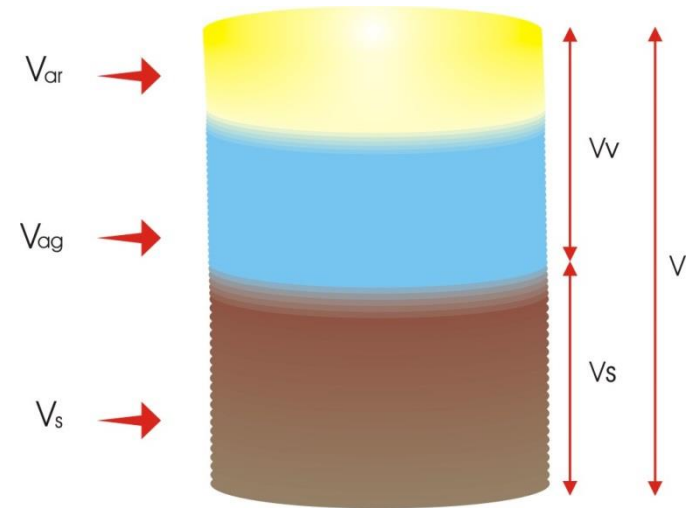
Livro “Mecânica dos Solos e suas Aplicações”, Homero Pinto Caputo, Livros Técnicos e Científicos Editora, 3ª edição.

A água como fator de instabilidade

O solo é constituído de três fases: ar, água e sólido.

Ruptura hidráulica

A situação em que se registra perda de resistência e estabilidade, levando à danificação de sua estrutura ou da fundação, o que ocorre por meio das pressões de percolação d'água sobre o maciço



V_{ar} = volume de ar;
 V_{ag} = volume de água;
 V_s = volume de sólido;
 V = volume total;
 V_v = volume de poros do solo “volume dos vazios”.

“Piping”

É ocasionado através de carreamento dos grãos do solo pelas forças de percolação, seu mecanismo é semelhante à erosão superficial provocada pela chuva. Seu início se dá num ponto de surgência d'água, progredindo para trás em torno de um filete d'água que arrasta os grãos, cujo resultado é a formação de um tubo, o que leva a ser conhecida também como retroerosão tubular

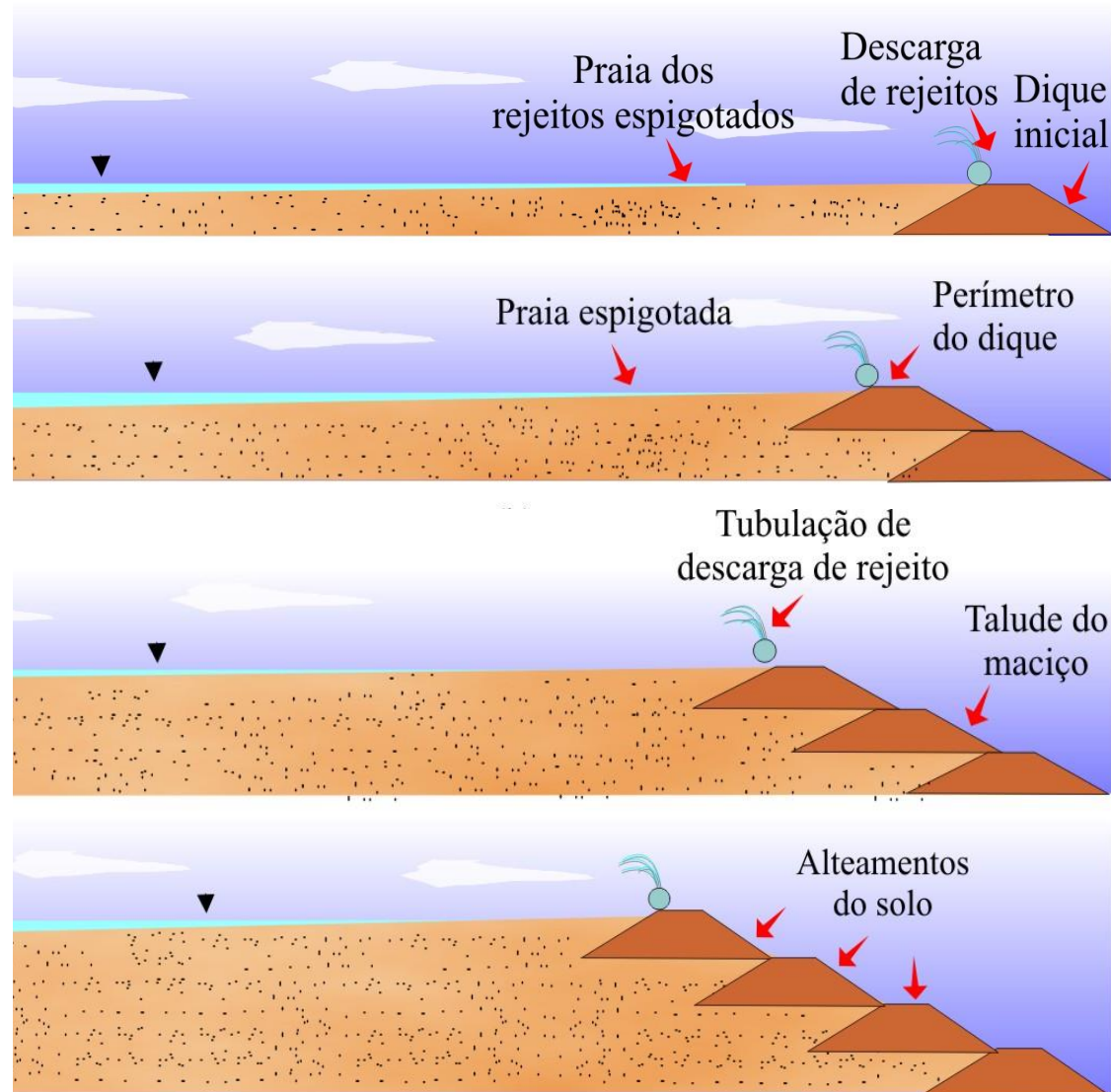
Liquefação

Liquefação é o tipo de ruptura hidráulica que ocorre devido à percolação de água no sentido oposto ao peso do maciço, gerando um estado de fluidez e escoamento de sua estrutura

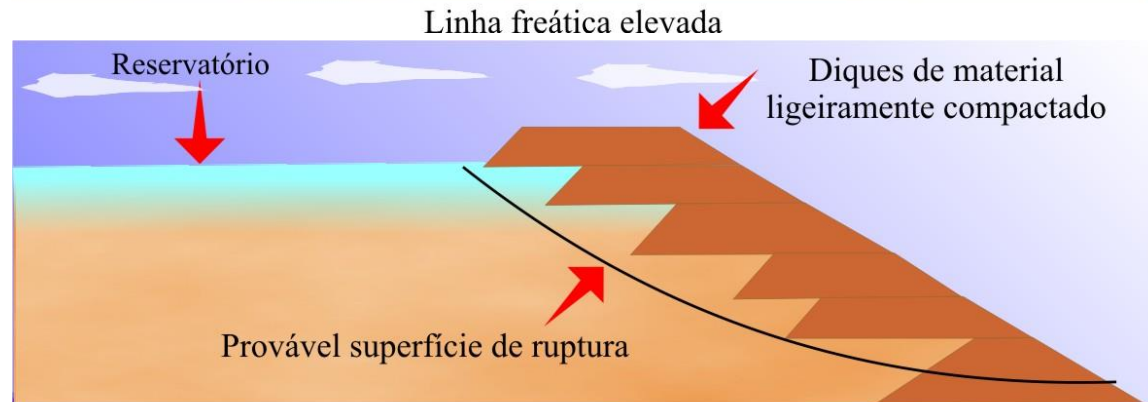
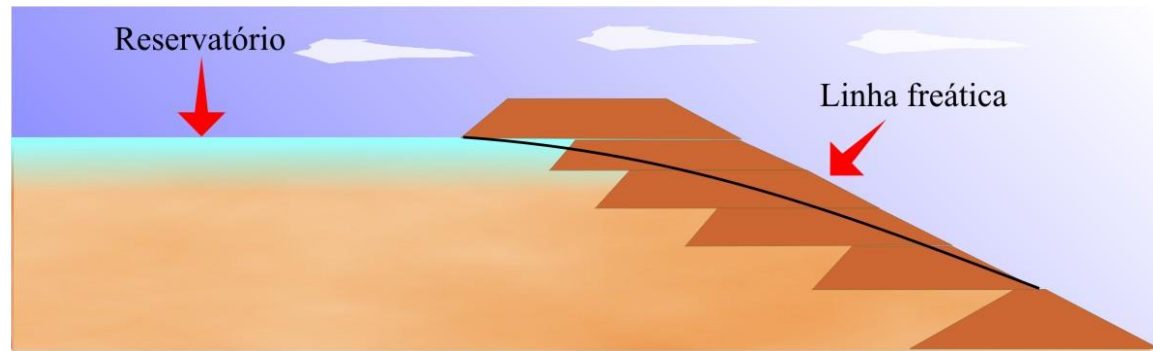
Sistemas construtivos de contenção de rejeitos

Método da linha de Montante

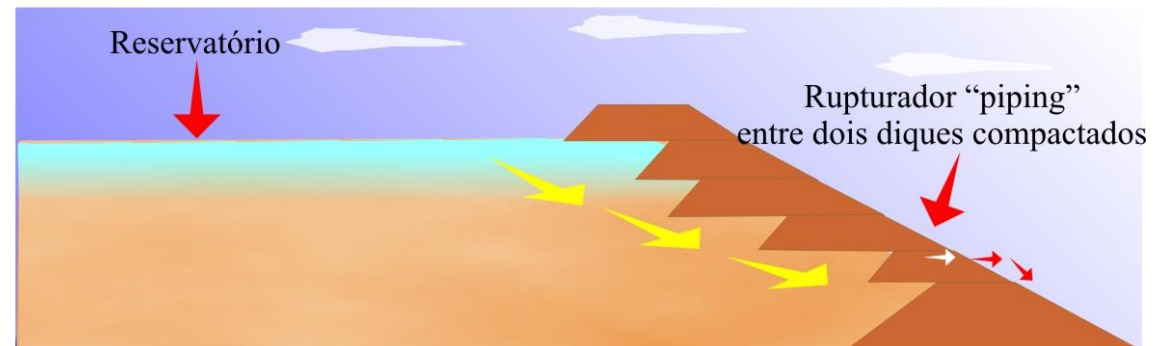
Tem como critério reduzir o custo de barramento aproveitando os rejeitos depositados como parte da estrutura de contenção construindo-se um dique inicial. conforme sequência apresentada na figura ao lado.



As barragens construídas pelo método da linha de montante são suscetíveis de colapso por liquefação, principalmente em regiões sujeitas a abalos sísmicos.



Superfície de ruptura passando pelos rejeitos sedimentados

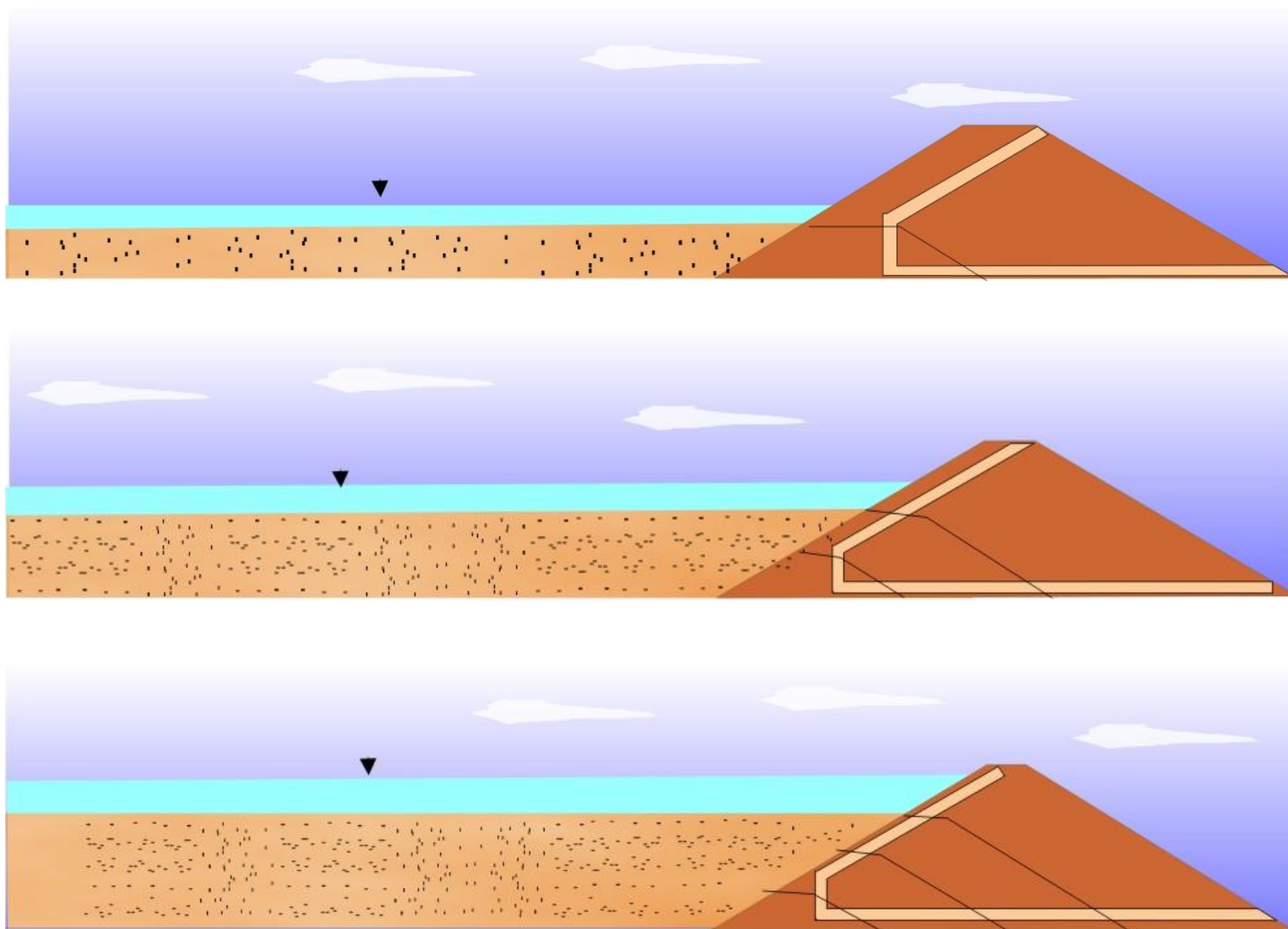


Risco de ruptura por "piping"

Método da linha de Jusante

Para reduzir os riscos de colapsos que importunam as barragens construídas pelo método de montante, foram aplicados esforços e iteração de conhecimentos e estudos, resultando o método de jusante que consiste no alteamento da barragem para jusante do dique inicial, conforme seqüência a seguir representada.

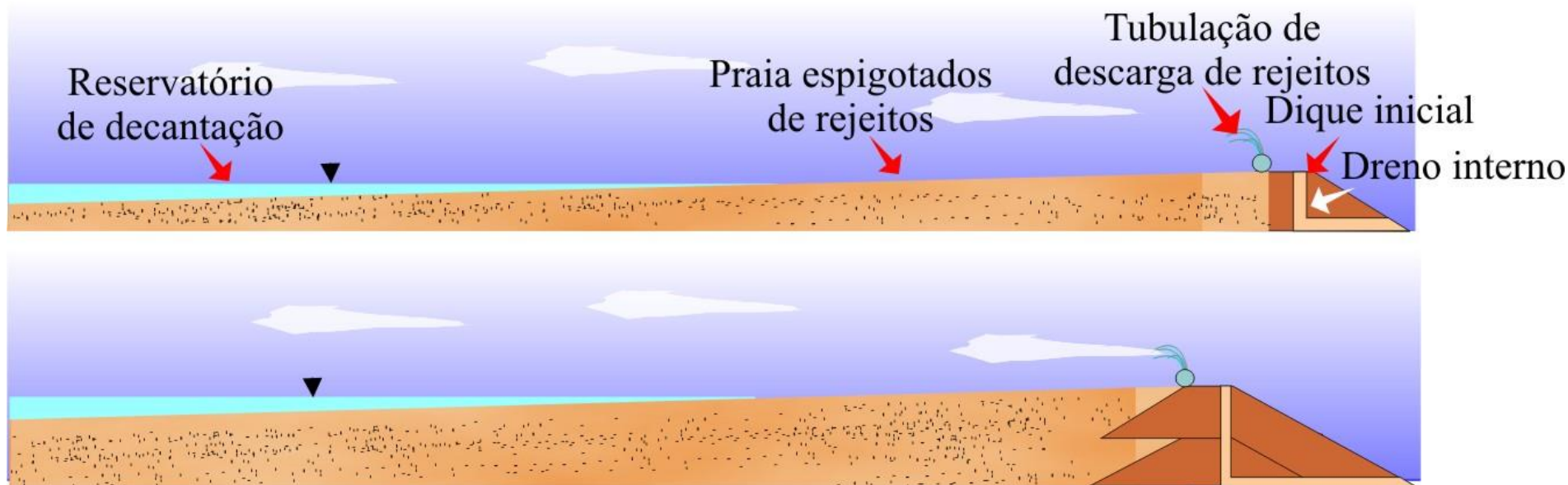


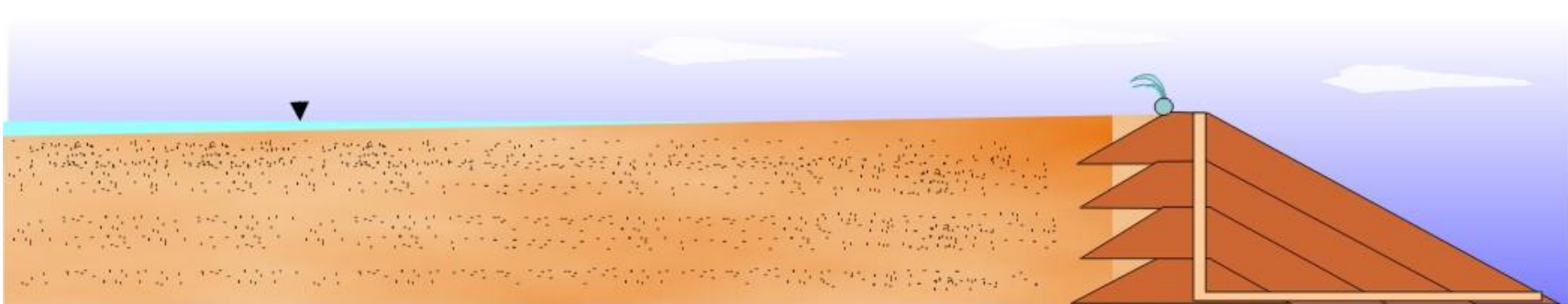


(d)

Método da Linha de Centro

O método da linha de centro é geometricamente uma solução intermediária entre o método de jusante e o de montante, inclusive em termos de custos, embora seu comportamento estrutural se aproxime mais do método de jusante, conforme sequência mostrada na figura seguinte.

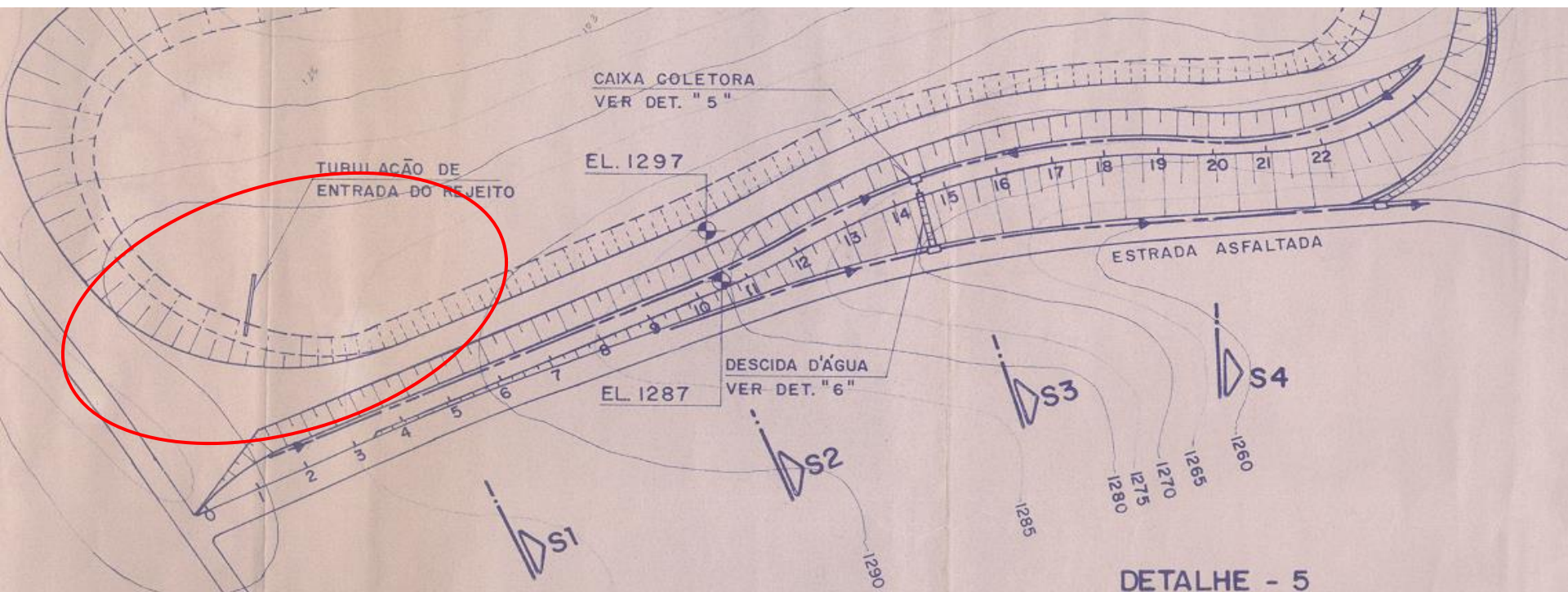




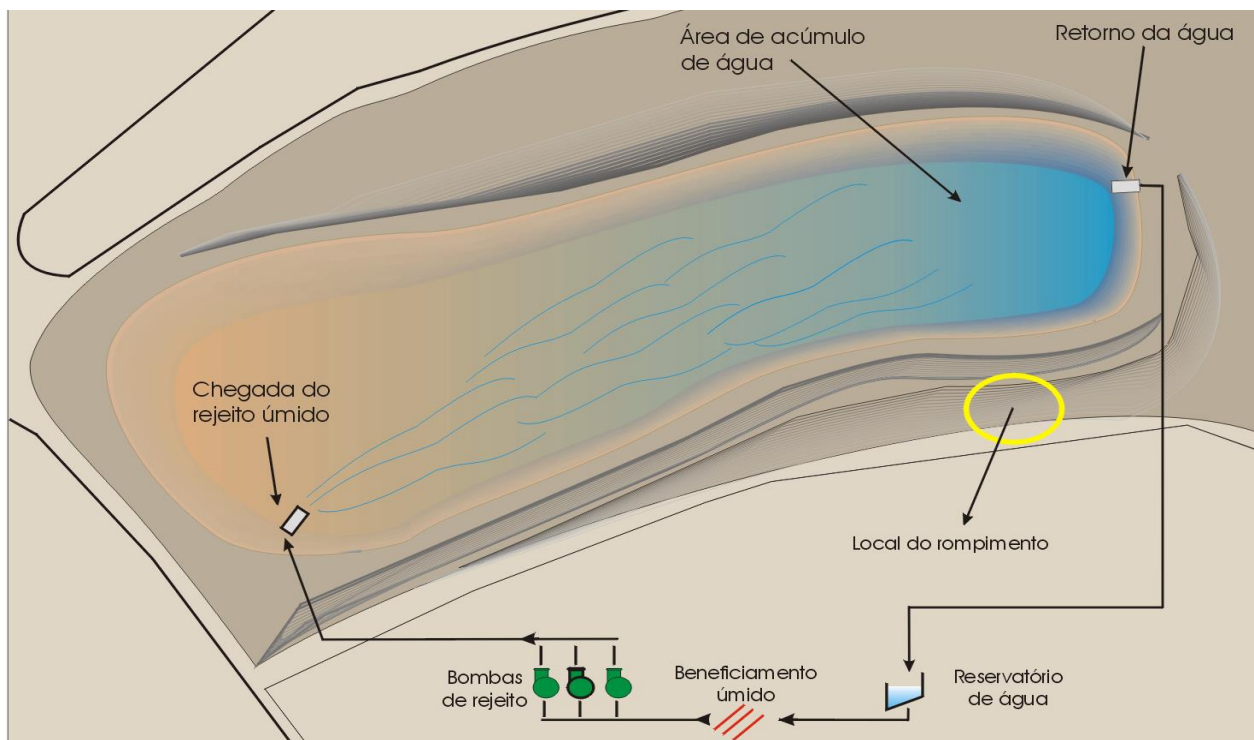
	MÉTODO DE MONTANTE	MÉTODO DE JUSANTE	MÉTODO LINHA DE CENTRO
CARACTERÍSTICAS GERAIS	• Método mais antigo, e o mais empregado na atualidade. • Lançamento a partir da crista por “spigots”. (as frações grossas se depositam junto ao corpo da barragem). • Também podem ser usados hidrociclones.	• Construção de dique inicial impermeável e barragem de pé. • Separação dos rejeitos na crista do dique por meio de hidrociclones. • Barragem com dreno interno e impermeabilização a montante.	• Variação do método de jusante
VANTAGENS	• Menor custo. • Maior velocidade de alteamento.	• Maior segurança. • Compactação de todo o corpo da barragem.	• Variação do volume de “underflow” em relação ao met. jusante
DESVANTAGENS	• Maior probabilidade de instabilidade devido a presença de finos não adensados junto ao corpo da barragem. Baixa compactidade do material; possibilidade de liquefação.	• Necessidade de grandes quantidades de “underflow” (problemas nas 1as. Etapas). • Deslocamento do talude de jusante (proteção superficial só no final da construção).	• Pode ser necessário estender os trabalhos de compactação a montante do eixo da barragem.

Concepção do lançamento dos rejeitos

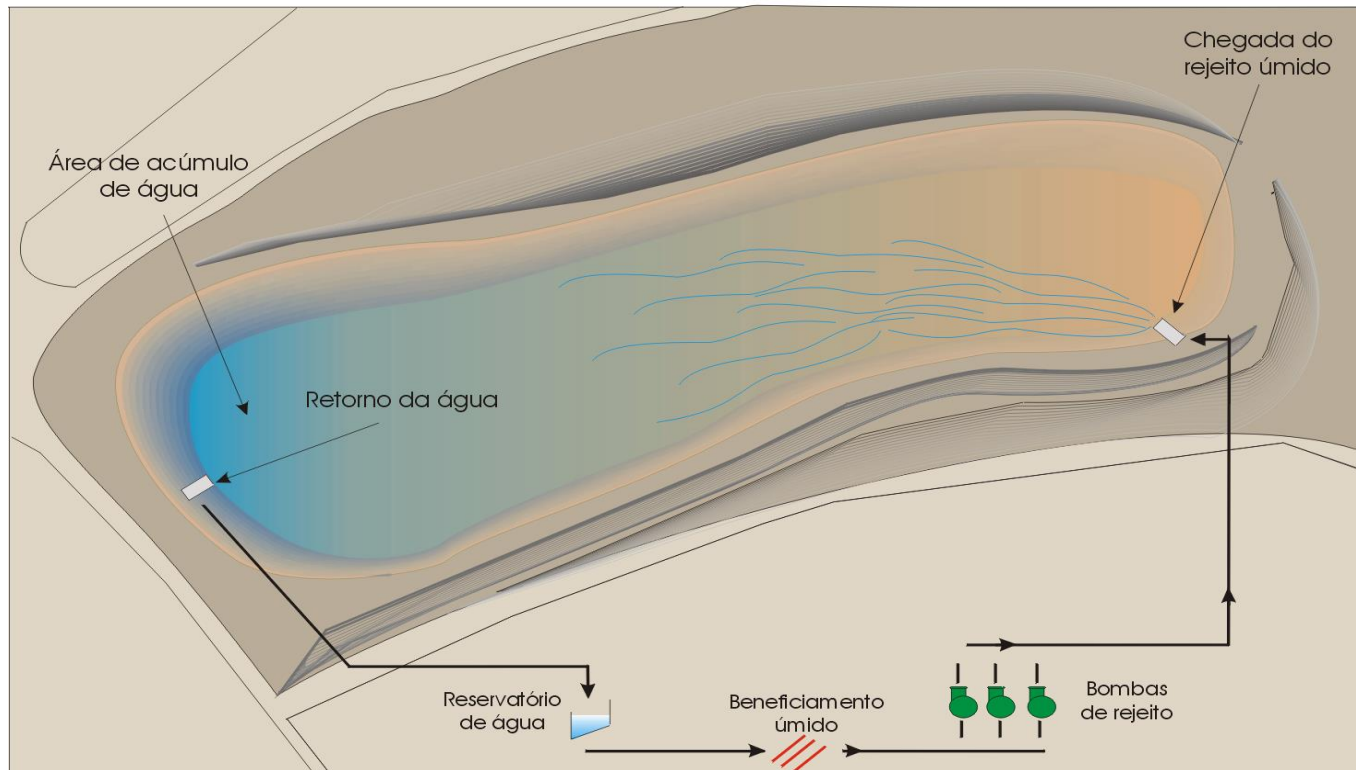
O lançamento dos rejeitos no interior da Cava 1 era feito na borda sul, situada em local oposto à estrutura rompida, conforme consta do projeto encomendado à Bioma Meio Ambiente



Esta situação levou ao acúmulo de água junto ao barramento rompido, o que contraria toda a bibliografia técnica referente ao assunto, mostrada anteriormente, cujo correto seria o lançamento sobre a crista do barramento, fazendo com que a água se acumulasse na extremidade oposta, junto ao terreno natural.



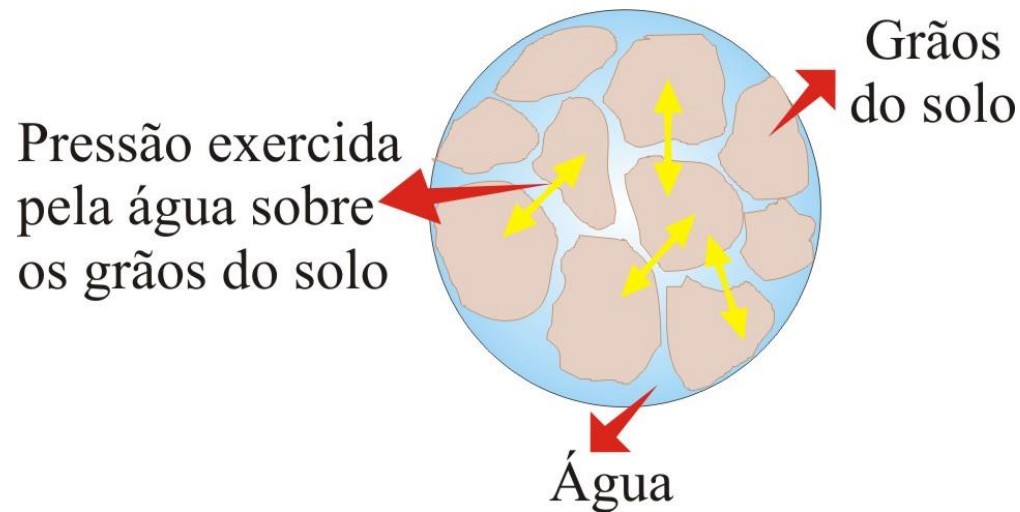
Situação concebida no projeto encomendado



Situação correta e desejável

Presença de água no barramento:

A presença de água em qualquer estrutura de solo pode provocar comprometimento de seu desempenho, uma vez ocorrer o preenchimento dos espaços intergranulares:



Concepção original do projeto



Como recomenda a bibliografia técnica



Conclusão final

Diante do exposto nos itens anteriores, e após analisarmos todos os fatos que interferem ou possam vir a interferir com o assunto objeto deste laudo, concluimos o seguinte:

- * O rompimento foi causado pelo fenômeno da liquefação, que é registrado quando ocorre um rápido decréscimo da resistência ao cisalhamento do maciço, fazendo com que, após iniciado o movimento, o material corra como se fosse um líquido, até encontrar um ângulo de repouso que permita sua estabilização.

- * A origem deste fenômeno foi o estado de saturação do maciço do barramento, fazendo com que a água contida entre os grãos do material passasse a desenvolver subpressões nos materiais sólidos do aterro, que perderam a coesão e, conseqüentemente, a resistência ao cisalhamento, criando as condições propícias à ocorrência da ruptura.



* Toda esta sequência de fatos foi decorrente do acúmulo de água junto ao barramento, resultado da concepção equivocada do lançamento de rejeitos na extremidade oposta ao alteamento executado no local do rompimento, cujo método adotado foi o de montante.

* Finalmente, cabe ressaltar que este método não é recomendado na literatura técnica, bem como na Norma Brasileira da ABNT, sendo que, na hipótese de sua utilização, o correto seria o lançamento ocorrer sobre a crista do barramento, fazendo com que a água se acumulasse na extremidade oposta.

*“Feliz aquele que
transfere o que sabe e
aprende o que ensina”*

Cora Coralina

Muito obrigado!

