



Painel: BARRAGENS DE REJEITOS

14 de Dezembro de 2015

Willy A. Lacerda

Prof. Emérito, UFRJ

Prof. Colaborador, COPPE/UFRJ

Estatísticas de rupturas

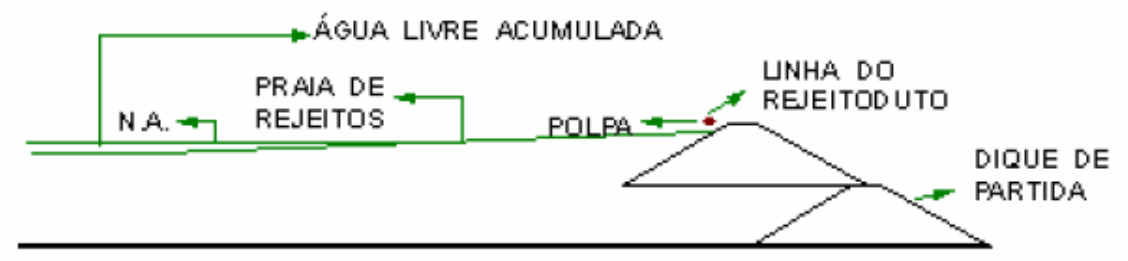
Ano	Barragem	Localização	Nº de Mortes
2009	Algodões 1 (PI)	Brasil	
2008	Espora (GO) e Apertadinho (RO)	Brasil	
2007	Rio Pomba (MG)	Brasil	
2004	Camará	Brasil	
2003	Rio Pomba-Cataguazes (MG)	Brasil	
2001	B1 Rio Verde (MG)	Brasil	5
1995	Placer	Filipinas	12
1994	Merriespruit	África do Sul	17
1986	Fernandinho	Brasil	7
1985	Stava	Itália	269
1978	Arcturus	Zimbabwe	1
1976	Teton	USA	11
1974	Bakofeng	África do Sul	12
1972	Buffalo Creek	USA	125
1970	Mufilira	Zâmbia	89
1963	Vajont / Baldwin Hills	Itália / USA	~3.000 / 5
1959	Malpasset / Vega de Tera	França / Espanha	421 / 150

Tabela 3.3 – Alguns exemplos de recentes acidentes em barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais em Minas Gerais

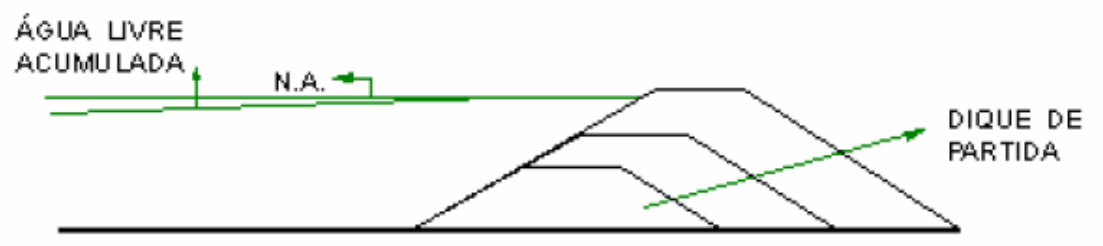
Mês e Ano	Ocorrência
Junho de 2001	Mineração Rio Verde Ltda. Nova Lima, MG. O rompimento da barragem resultou em 5 mortes, danos à fauna, flora e unidade de conservação, danos à adutoras de abastecimento de água, assoreamento de rios, além de pagamento de multa e prestação de serviços sociais.
Março de 2003	Indústria Cataguazes de Papel. Cataguazes, MG. Lixívia negra causa interrupção no fornecimento de água.
Março de 2006	Rio Pompa Mineração Cataguazes. Mirai, MG. Vazamento de lama casou danos ambientais, prejuízos materiais e suspensão de abastecimento de água em cidades de MG e RJ.
Janeiro de 2007	Reincidente: Rio Pompa Mineração Cataguazes. Mirai, MG. Rompimento da barragem causa danos ambientais, prejuízos materiais, suspensão do abastecimento de água; mais de 500 pessoas desalojadas.

MÉTODOS USADOS

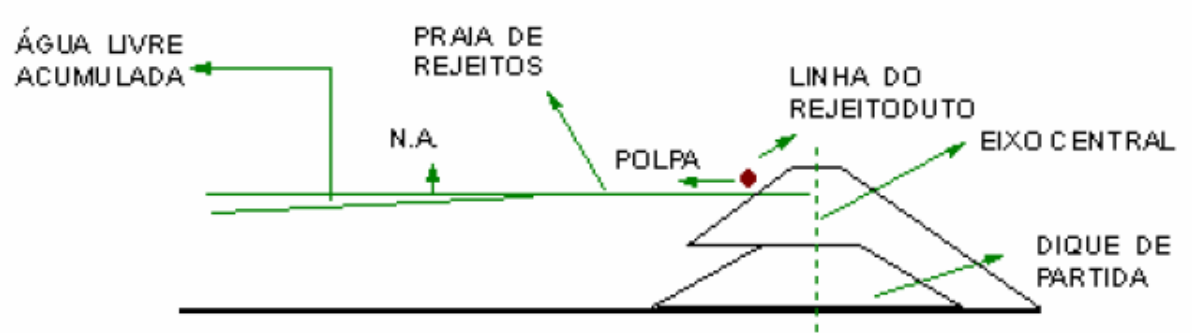
MÉTODO DE MONTANTE



MÉTODO DE JUSANTE



MÉTODO DA LINHA DE CENTRO



Método de alteamento a montante

- No método de alteamento, o rejeito em forma de suspensão em meio aquoso é lançado atrás dos diques. A parte mais grossa do rejeito (fração de areia) precipita-se próximo à crista do dique. A parte fina (silte, argila) deposita-se mais a montante, e há formação de um lago.



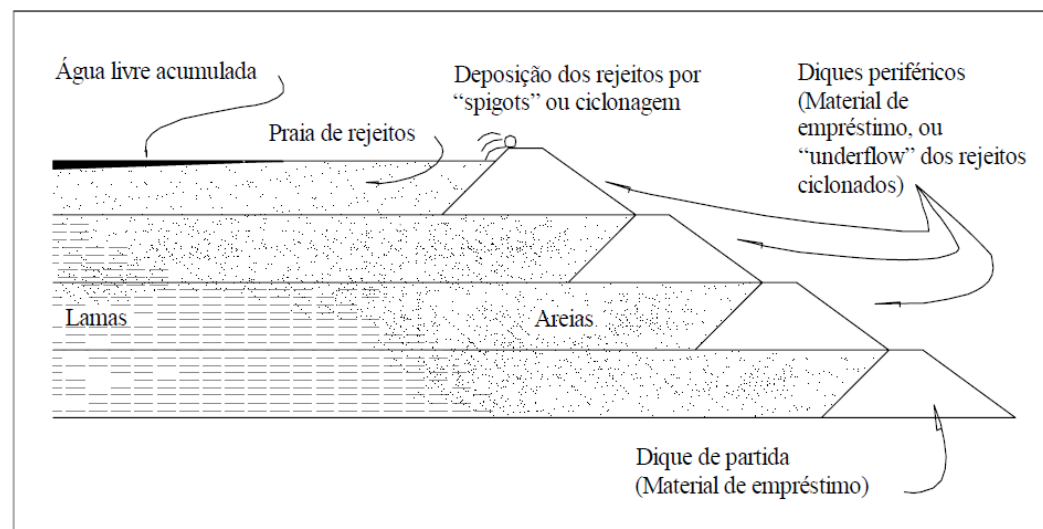
Barragem com alteamento – depósito a jusante, com o lago à direita



Observações

- Este tipo de barragem tem os diques assentes em camadas de areia, depositadas sem compactação. Sua segurança está na construção prévia de um extenso colchão drenante, de britas, para que o fluxo da água do dos depósitos seja encaminhado para baixo, a favor da segurança.
- Porem, existem camadas fofas, e às vezes lentes de material argiloso, o que pode provocar a existência de lençóis suspensos, e encaminhamento da drenagem para uma cota superior, com possível ocorrência de *piping*, o que pode iniciar uma ruptura. A areia fofa, saturada, é sujeita ao fenômeno da LIQUEFAÇÃO, em caso de abalos sísmicos de intensidade maior que a prevista em projeto, ou mesmo de uma sobrecarga instantânea.

Alteamento a montante

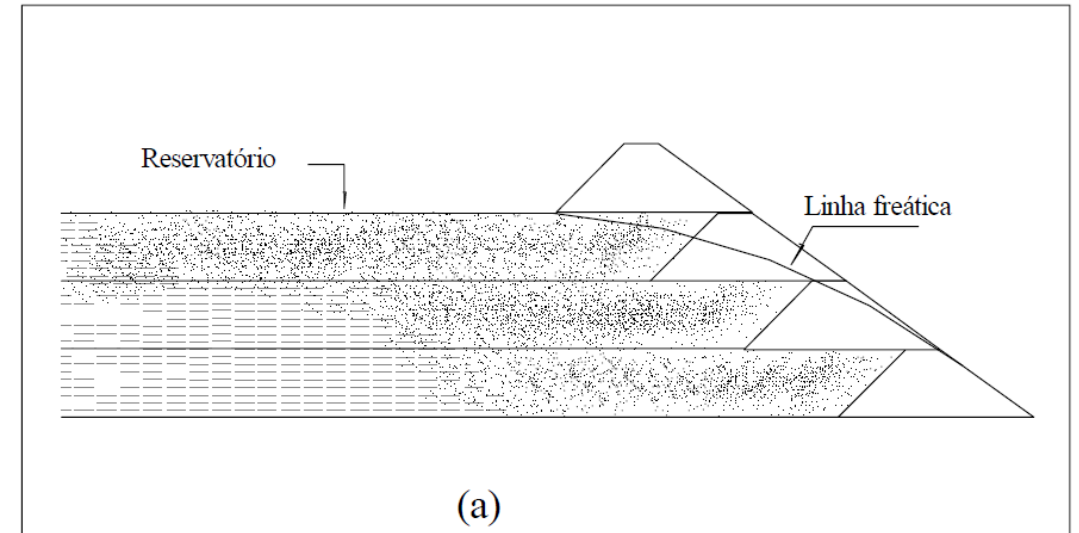


Método de montante (Vick 1981, modificado).

- Se a fração areia realmente ocupa a parte abaixo dos diques, e há boa drenagem através do colchão drenante de fundo, a barragem é estável.

O que pode dar errado no método de alteamento a montante

- A segurança de uma barragem deste tipo depende da drenagem do rejeito para um colchão drenante inferior. Se isto não acontece, a linha freática fica elevada, aumentando o risco de ruptura.



Possibilidades de ruptura

As areias saturadas, no estado fofo, estão sujeitas a liquefação, podendo iniciar uma ruptura.

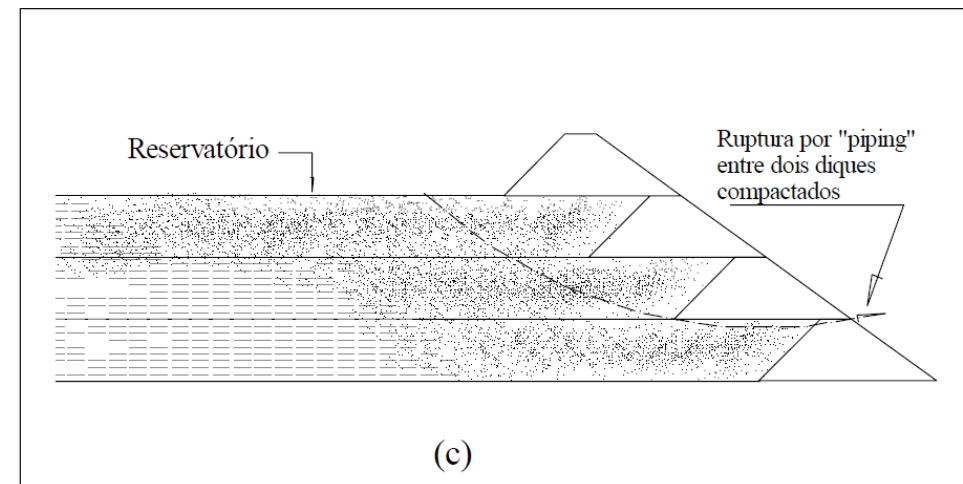
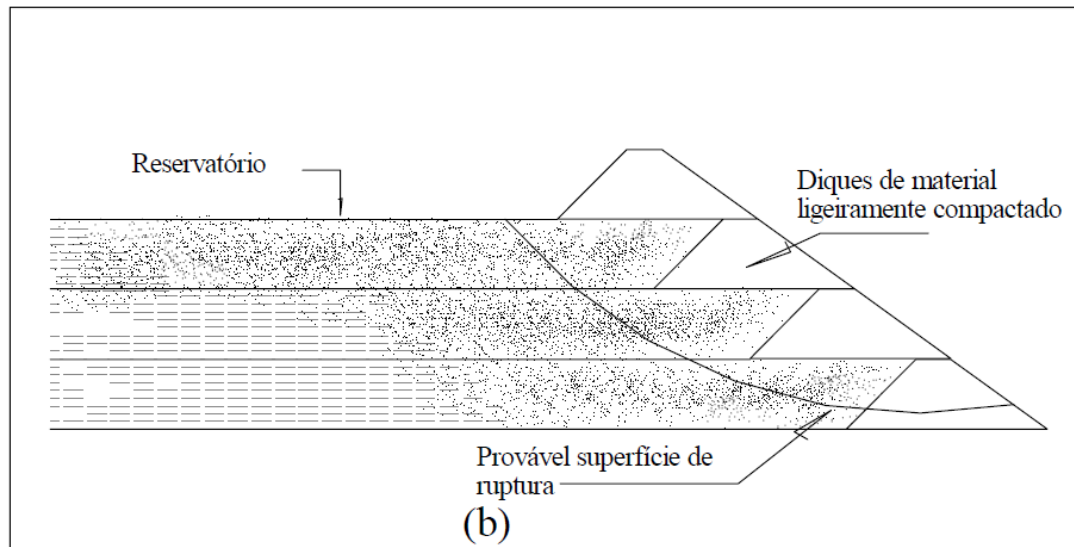
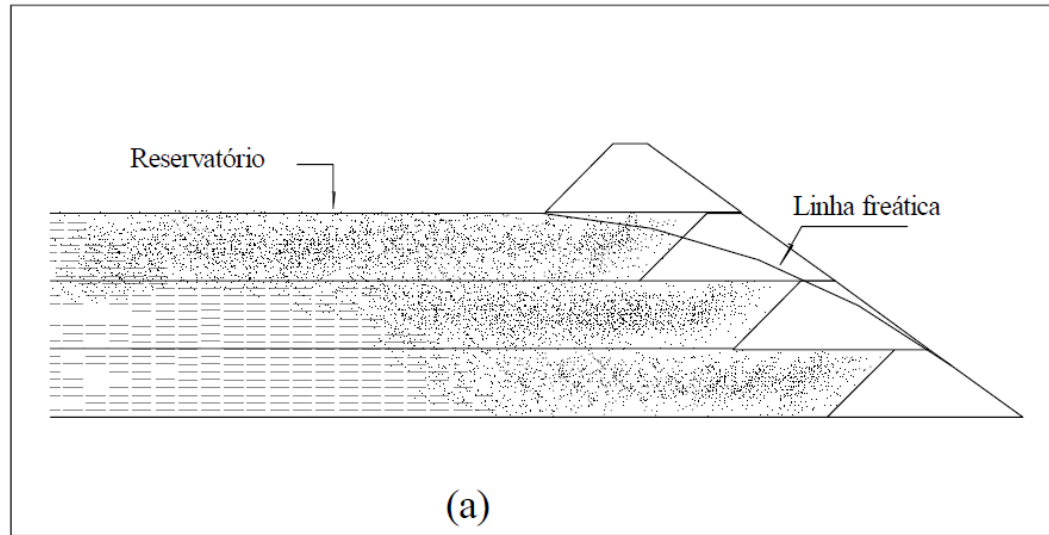


Figura 4. Desvantagens do método de montante: (a) linha freática elevada; (b) superfície provável de ruptura passa pelos rejeitos; (c) risco de ruptura por "piping" (Silveira e Reades 1973).

Barragens com alteamento a jusante

- Neste caso, é construída uma barragem de terra convencional, compactada, provida de todos os elementos de segurança conhecidos (filtro vertical, colchão drenante a montante, núcleo impermeável). O rejeito é lançado a montante, e a estabilidade da barragem não depende da hipótese de haver boa drenagem dos rejeitos.
- A disposição de rejeitos é muito mais segura neste caso.

- Disposição de rejeito líquido em reservatório criado com uma barragem convencional de terra.



Atenção!

- Se o rejeito for líquido, o método de alteamento a jusante é mandatório. Há que atentar aos seguintes aspectos:
- A) o líquido é inerte, isto é, não reage quimicamente com o material da barragem ou das ombreiras.
- B) o líquido é altamente ácido, ou básico (caso da lixívia), podendo, ao percolar, alterar as características de resistência ou de permeabilidade do solo compactado ou das ombreiras.

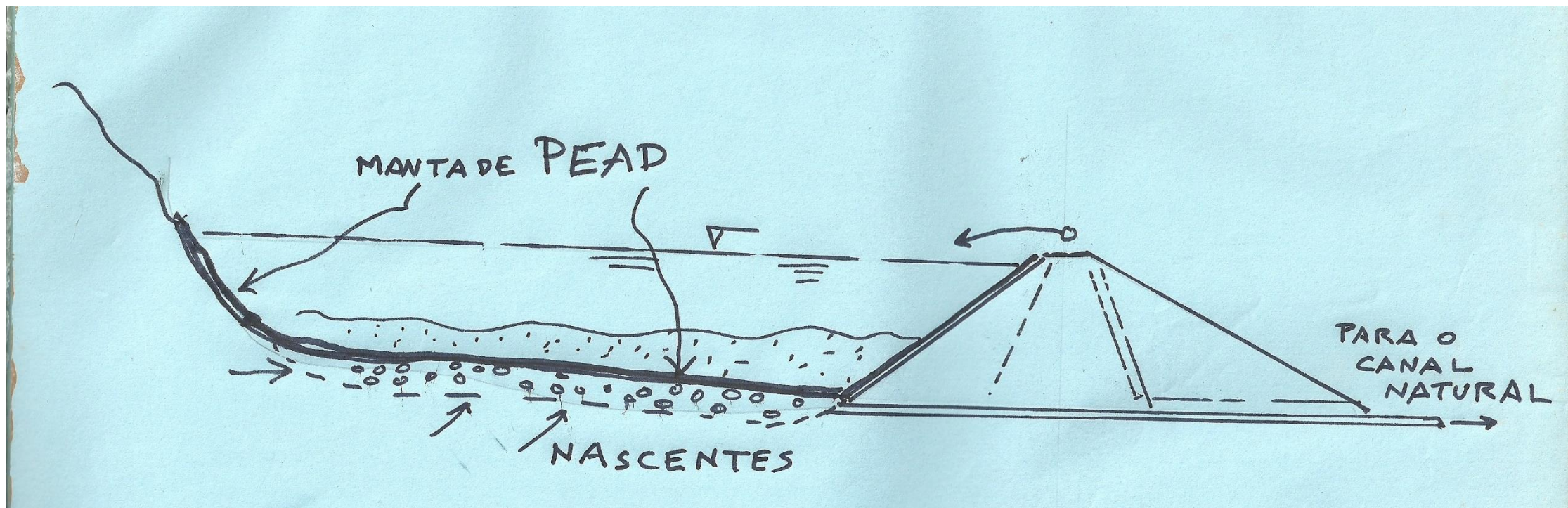
Resguardar as nascentes

- Se existem nascentes que possam ser contaminadas pelos rejeitos (metais pesados, radioatividade, pH elevado) é preciso, antes de tudo, captar estas nascentes por meio de colchões de brita, que serão cobertos por manta de PEAD impermeável e inerte a ácidos ou bases.
- A água da nascente é encaminhada através de tubulação que atravessa a barragem, e o líquido oriundo do adensamento do material sólido estocado é reciclado, voltando para o lago.

Barragem e taludes do reservatório revestidos com manta PEAD



O rejeito pé reciclado, e a água das nascentes é encaminhada para o canal natural



Critérios para classificação de risco

Tabela 3.5 – Critérios para classificação de dano ambiental das barragens

Altura da barragem H (m)	Volume do reservatório (x10⁶ m³)	Ocupação humana a jusante	Interesse ambiental a jusante	Instalações na área de jusante
H < 15 V=0	V _r < 0,5 V=0	Inexistente V=0	Pouco significativo V=0	Inexistente V=0
15 ≤ H ≤ 30 V=1	0,5 ≤ V _r ≤ 5 V=1	Eventual V=2	Significativo V=1	Baixa concentração V=1
H > 30 V=2	V _r > 5 V=2	Existente V=3	Elevado V=3	Alta concentração V=2
-	-	Grande V=4	-	-

Fonte: Modificado de COPAM (2005).

Inspeção

Classe I: $\sum V \leq 2$ (Baixo potencial de dano ambiental) – inspeção a cada três anos;

Classe II: $2 < \sum V \leq 5$ (Médio potencial de dano ambiental) – inspeção a cada dois anos;

Classe III: $\sum V > 5$ (Alto potencial de dano ambiental) – inspeção a cada ano.

Porque o método de montante é ainda usado?

- Embora seja mais arriscado, este método é preferido por muitas mineradoras, por razões econômicas.

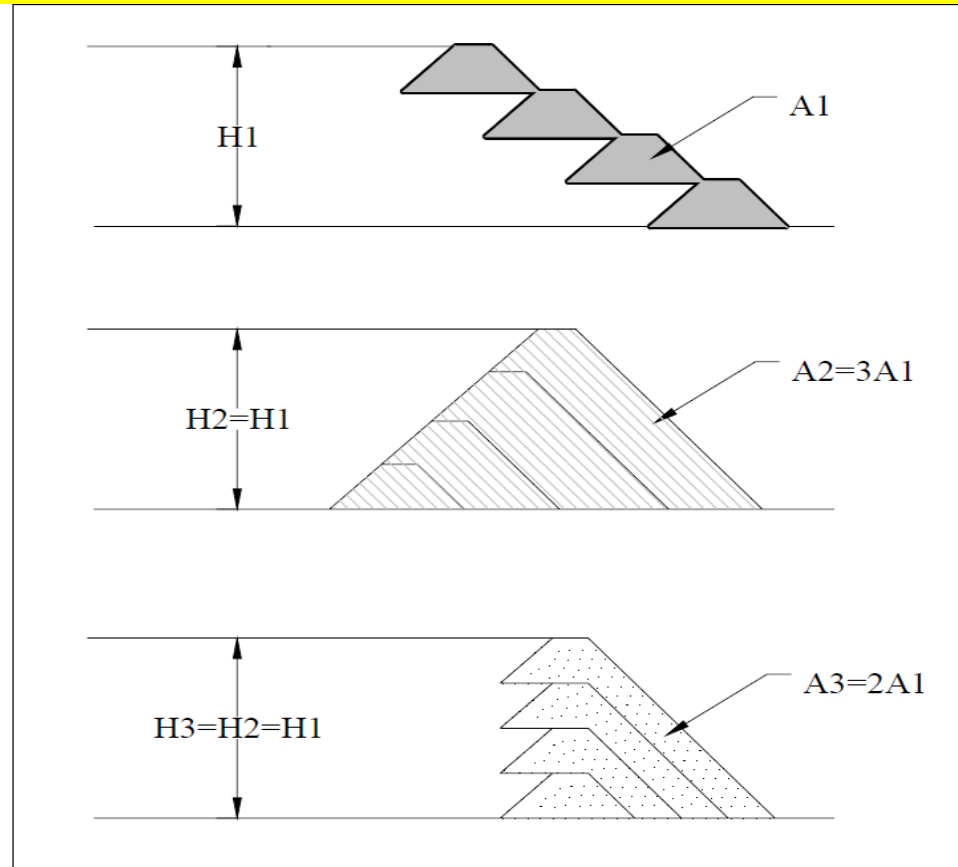
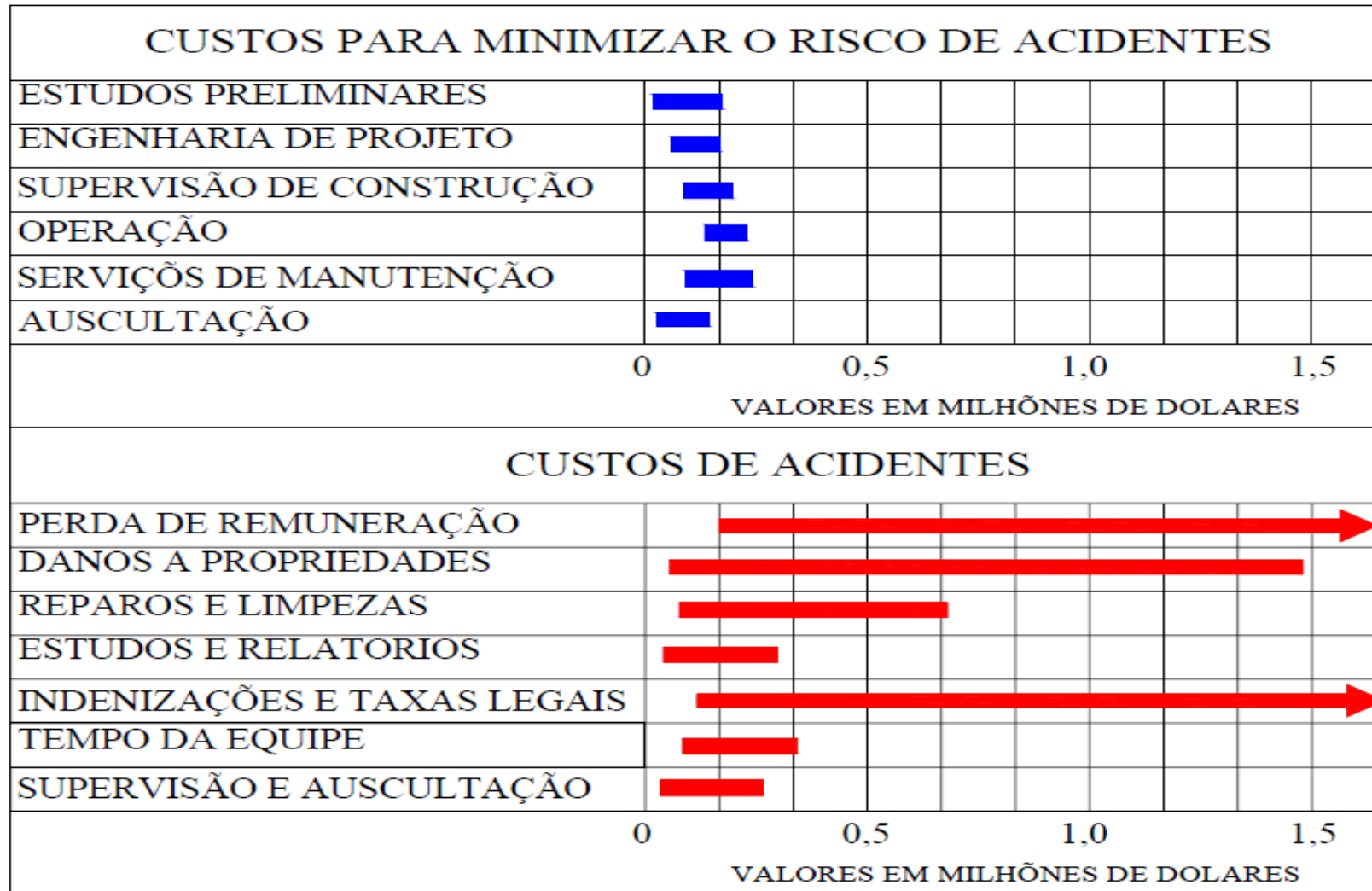


Figura 8. Comparação de volumes para vários tipos de barragem: (a) Método de montante. (b) Método de jusante. (c) Método da linha do centro (Vick 1983, modificado).



Custos para minimizar o risco de acidentes vs custos de acidentes (Mello 1981).

Ruptura da barragem de Cataguazes, em 2003

- A barragem de terra compactada para armazenar lixívia (soda cáustica), de uma indústria de celulose em Cataguazes, rompeu em 2003. Ela não tinha revestimento impermeável, e a lixívia, percolando pelo material laterítico da ombreira, desfez sua cimentação e elevou sua permeabilidade, permitindo um *piping*, que ocasionou a ruptura do encontro da barragem com a ombreira.

Barragem de rejeitos em Cataguazes, MG, 2003



Foto: IBAMA

Acidente da barragem B em Cataguazes, Dezembro de 2003

- As barragens A e B foram construídas no início da década de 1990, como solução emergencial para os efluentes da fábrica de papel (lixívia), que até então eram então lançados *in natura*.
- Após exigência feita pelos órgãos ambientais, foi contratada uma firma de engenharia geotécnica que projetou as referidas barragens, **com a condição de serem provisórias**, pois a premissa de projeto era a de que seriam usadas por apenas dois anos. Após este tempo o processo industrial não teria mais efluente, pois a lixívia seria tratada por processo térmico, e as duas barragens seriam desativadas.

- O projeto alertou para o fato de que a lixívia altera as propriedades geotécnicas dos solos, podendo haver perda de resistência ao cisalhamento e desagregação das partículas de argila, tornando o solo dispersivo e mais permeável, sujeito a carreamento de finos, favorecendo o fenômeno de entubamento (“piping”).

Primeiros incidentes

- Em fins de Março de 2003 um fiscal de campo detectou, junto à ombreira direita (no sentido de quem olha de dentro para fora do reservatório), a saída de lixívia, ou “licor negro”, por um pequeno orifício no solo no contato com a ombreira. No dia 29 ocorreu o rompimento desta parte da barragem deixando um rombo por onde passaram alguns milhares de metros cúbicos de lixívia, sem testemunhas oculares e sem divulgação pública.

O acidente

- A barragem B rompeu em 29 de Março de 2003, jogando um volume estimado de 700 mil Metros cúbicos no córrego Cágado, afluente do rio Pomba, por sua vez afluente do rio Paraíba do Sul, afetando a vida de cerca de 450 mil pessoas em 9 municípios do Rio de Janeiro que dependiam do abastecimento destes cursos d'água.
- A barragem B tem uma altura máxima de cerca de 25 metros, e a barragem A uma altura de 14 metros.



Fotos: Ministério Público

considerações

- Os solos usados na compactação visualmente e ao tato são predominantemente silto arenosos, lateríticos, com alguma argila. As curvas apresentadas no projeto mostram teores de argila (ensaios seguindo as normas da ABNT, provavelmente, usando defloculante) variando de 40 a 60 %.

- a percolação da lixívia certamente teria um efeito defloculante nos solos, envolvidos nas duas barragens, especialmente no horizonte A dos solos das ombreiras, sabidamente com maior teor de argila que os do horizonte C. Pelas fotos observa-se que o rompimento se deu justamente junto à ombreira direita, e na parte superior. Uma vez estabelecido o “tubo” de erosão a vazão aumenta exponencialmente, alargando-o, e, a seguir, com seu diâmetro aumentado, provoca o colapso da massa de solo acima, que perdeu suporte

Reservatório com lixívia, após a ruptura



- Alçamento do vertedouro de emergência com placa de concreto, na barragem A, para aumentar o volume do reservatório... ..



Comentários

- Embora tenha havido rupturas de barragens de rejeito construídas pelo método mais seguro, de alteamento a jusante, o número de acidentes em barragens de rejeito pelo método de alteamento é significativamente maior.
- Na opinião deste expositor, devem ser incluídas regras rígidas para este tipo de construção: adoção de Fatores de Segurança bem mais elevados, controle sistemático do estado do material estocado por meio de ensaios de piezocone, piezômetros em número suficiente para detectar anomalias no fluxo, que deveria ser vertical, além de outros tipos de instrumentos.
- Em alguns países (Chile, por exemplo) não é permitida a construção de barragens pelo método de alteamento a montante. Motivo: rompimento de várias delas, no grande terremoto de 1970.

- Agradeço o convite da SEAERJ para esta palestra e a atenção de todos.

