

RAIMUNDO ALMIR COSTA DA CONCEIÇÃO
ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA

GUIA PRÁTICO: ANÁLISE DE RISCO EM BARRAGENS DE REJEITO DE MINERAÇÃO

Belém-Pará
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS
E DESASTRES NA AMAZÔNIA

Produto Técnico vinculado a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Conceição, Raimundo Almir Costa

Análise do potencial de risco de rompimento em barragens de rejeito de mineração do Estado do Pará utilizando a metodologia *Risk-Based Profiling System* (RBPS) / Raimundo Almir Costa da Conceição; Orientadora: Dr^a Aline Maria Meiguins de Lima - 2018

68f

Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastre na Amazônia, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2018.

1. Introdução.

GUIA PRÁTICO

Análise de Risco em Barragens de Rejeitos de Mineração

RAIMUNDO ALMIR COSTA DA CONCEIÇÃO

ANÁLISE DE RISCO EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO

Nota:

O material apresentado a seguir faz parte de um dos objetivos da tese de mestrado profissional do Pesquisador em Geociências, do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), Raimundo Almir Costa da Conceição, denominada **Análise do potencial de risco de rompimento em barragens de rejeito de mineração do estado do Pará utilizando a metodologia *Risk-Based Profiling System* (RBPS)** desenvolvida para o Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco na Amazônia, da Universidade Federal do Pará (UFPA). Seu conteúdo ainda será apreciado pela Divisão de Geologia Aplicada (DIGEAP) e pelo Departamento de Gestão Territorial (DEGET) do SGB/CPRM.



Conteúdo

Apresentação	4
Motivação e Objetivos	5
Análise de Risco	6
Análise do Potencial de Falha	7
Determinação do Fator de Carga	7
Determinação do Fator de Resposta	8
Estimativa de Perdas de Vidas Humanas	9
Índice de Risco	12
Danos Socioambientais	13
Resultados da Análise	14
Considerações Finais	17
Bibliografia Consultada	18
Anexo	19
Tabela de Pontuação dos fatores de carga do Cenário de Condição Estática	20
Tabela de Pontuação dos fatores de carga do Cenário Hidrológico	21
Tabela de Pontuação dos fatores de carga do Cenário Sísmico	22
Tabela de Pontuação dos fatores de carga do cenário de Operação e Manutenção (O&M)	23

A análise de risco é uma ferramenta de planejamento

Apresentação

Este guia apresenta de forma prática e fácil, os principais aspectos metodológicos de uma análise de risco de rompimento em barragens de mineração. Foi baseado na análise *Risk-Based Profiling System* (RBPS), criada pelo criada pelo *United States Bureau of Reclamation* (USBR), Agência Federal Americana responsável pela gestão do abastecimento de água em 17 estados americanos. A adaptação para barragens de mineração foi elaborada por Valerius (2014) ao fazer análise de risco das barragens do estado de Goiás. Para este guia, algumas modificações foram realizadas na metodologia adaptada.

A cada 1/3 de século, o risco em barragens de mineração aumenta em 20 vezes

Motivação e Objetivos

Estudos apontam um crescimento relevante, em todo o mundo, de acidentes graves e muito graves relacionados a rompimentos de barragem, a exemplo dos vazamentos recentes de rejeito de bauxita no município de Barcarena, PA e do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG, este resultando de 19 mortes e severos impactos ambientais no ano de 2015.

Esses eventos estão diretamente ligados ao aumento da produção mineral mundial e consequentemente ao aumento exponencial na produção de rejeitos, que necessitam de reservatórios de contenção cada vez maiores, o que levou a um aumento dos acidentes de barragens, a partir da década de 1960. Alguns autores, como Robertson (2011), afirmam que o potencial de risco das barragens de rejeito aumenta 20 vezes a cada 1/3 de século.

Após o evento de rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG, foi firmado um Acordo de Cooperação Técnica entre a o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) e o Departamento Nacional de Produção Mineral (ANM/DNPM) para a realização de mapeamentos e análises de risco em barragens de mineração incluídas na Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010).

A fim de colaborar com alguns aspectos deste Acordo de Cooperação, foi elaborado este guia, para apresentar uma metodologia de análise de risco que possa ser realizada com dados obtidos relativa facilidade, que possa ser também uma alternativa aos critérios de análise de risco de barragens de mineração vigente no país (Resolução nº 143/CNRH).

Não se esgotam, entretanto, as possibilidades de atualizações futuras deste documento, tendo em vista o seu caráter construtivo-metodológico.



Vazamento de rejeito de bauxita (lama vermelha) em Barcarena, PA. Foto: G1



Destroços das moradias após o rompimento da barragem do Fundão, em Mariana, MG. Foto: Christophe Simon/AFP

Indústrias químicas, petrolíferas e nucleares: pioneiras na análise de risco

Análise de Risco

A premissa básica da análise de risco é obter um panorama geral da condição apresentada a partir dos dados disponíveis, com a finalidade de garantir um sistema de gestão mais seguro.

Para alcançar este panorama geral, a metodologia de análise, deverá responder a seguinte pergunta:

“Ocorrendo um cenário que propicie o rompimento de uma barragem (chuva atípica, sismo, operação ineficiente...), qual a probabilidade de que este rompimento ocorra?”

Para responder a pergunta, deve-se realizar as seguintes etapas:

1. Análise do Potencial de Falha;
2. Estimativa de Perdas de Vidas Humanas;
3. Análise do Dano Socioambiental.

Logo, a análise segue a equação clássica do risco:

$$R = \sum [P(\text{Carga}) \cdot P(\text{Resposta})] \cdot \text{Consequências}$$

Onde:

P(Carga). **P(Resposta)** é a Análise do Potencial de falha e;

As Consequências são a Estimativa de Perdas de Vida e a Análise do Dano Socioambiental.

P(Carga) ou Fator de Carga?

Indica a probabilidade da ocorrência de um cenário de solicitação (chuva anômala, abalo sísmicos, operação inadequada da barragem)

P(Resposta) ou Fator de Resposta?

Na ocorrência de um cenário de solicitação, indica qual a probabilidade de falha da barragem

Análise Qualitativa

Esta análise é subjetiva, o que não é motivo de desmerecimento, já que o julgamento perceptivo tem estado presente em diversas abordagens da engenharia e segurança de barragens, cujo o sucesso é indiscutível

O fator de carga é pré-estabelecido através da probabilidade subjetiva

Análise de Risco

Análise do Potencial de Falha

Determinação do Fator de Carga

Primeiramente, deve-se estabelecer o **fator de carga**, que indica a probabilidade de ocorrência de determinado cenário. Esses cenários representam as situações onde ocorrem a maioria dos acidentes de barragens: **cenário Estático, Hidrológico, Sísmico e de Operação e Manutenção (O&M)**.

O fator de carga é pré-estabelecido através do recurso de probabilidade subjetiva, utilizado pelo *United States Bureau of Reclamation* (USBR), onde faixa de valores (Tabela 1) são julgadas como críveis com base nas evidências disponíveis analisadas por um conjunto de especialistas, refletindo o grau de convicção na ocorrência de determinado evento. A probabilidade de cada cenário é apresentada na **Tabela 2**.

Cenário Estático

Considera-se a barragem trabalhando normalmente, sem implicações externas. Dessa forma, os fatores que podem ter maior influência quando a barragem é exigida será o nível máximo de alçamento e o nível de água no talude.

Cenário Hidrológico

Considera-se principalmente as inundações que ocorrem a montante da barragem, dentro da bacia hidrográfica. Geralmente este cenário está atrelado a ocorrência de chuvas anômalas.

Cenário Sísmico

Relaciona-se a incidência sísmica natural da região ou ainda a sísmica induzida pelos planos de fogo das minas e pelo trânsito de equipamentos de transporte pesado às proximidades da barragem.

Cenário O&M

Cumprimento das responsabilidades por parte do empreendedor. Geralmente é verificada em relatórios de inspeção fiscal, de consultorias ou ainda do Plano de Ação Emergencial para Barragens de Mineração (PAEBM).

Tabela 1. Probabilidades subjetiva

Descritor	Probabilidade
Virtualmente certo	0,999
Muito provável	0,99
Provável	0,9
Neutro	0,5
Improvável	0,1
Muito improvável	0,01
Virtualmente impossível	0,001

Tabela 2. Fatores de carga para cada cenário

Cenário	Probabilidade
Condição estática	0,99
Hidrológico	0,9
Sísmico	0,5
O&M	---

A soma dos Índices de Falha representará Potencial de Falha da barragem

Análise de Risco

Análise do Potencial de Falha

Determinação do Fator de Resposta

O **fator de resposta** representa a resposta da barragem ao cenário solicitado e é definido através de pontuações. Dependendo da avaliação cada cenário poderá receber até 300 pontos, com exceção do cenário de O&M que receberá no máximo 100 pontos, totalizando 1.000 pontos possíveis. A estimativa de pontuação é realizada através do preenchimento de 4 planilhas eletrônicas (**Anexo 1**) e podem ser atualizadas de acordo com a necessidades, porém, respeitando o limite de pontuação.

Esta etapa exige grande quantidade de dados, tanto da barragem (altura, volume, revestimento e condição do talude, sistema de drenagem, etc.), quanto das condições de operação (PAEBM, tipo de inspeção, documentação, etc.).

Esses dados podem ser obtidos no PAEBM, no SIGBM (Sistema de Informação Geográfica para Barragens de Mineração) de responsabilidade do DNPM (ANM - Agência Nacional de Mineração), junto às Secretarias Estaduais de Meio Ambiente (SEMA) e junto ao IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

Cálculo do Índice de Falha (IF)

A multiplicação do Fator de Carga pelo Fator de Resposta resultará no Índice de Falha (IF) da barragem que mede seu potencial de falha. A soma dos IF's representa o Índice de Falha Total (IFT).

O Potencial de Falha é o primeiro termo da equação do risco.

Caracterização do cenário

É realizada com base no preenchimento de planilhas eletrônicas para definição das pontuações de cada aspecto da barragem que mais influencia no cenário analisado. Essa pontuação define o potencial de falha. Quanto mais próximo do limite estipulado, maior será o potencial.

Incertezas

Caso não existe informações suficientes para a caracterização completa do cenário, este dado poderá ser estimado de forma conservadora. Grande parte dos dados são encontrados nos PAEBM e no SIGBM (Sistema de Informação Geográfica de Barragens de Mineração) de responsabilidade do DNPM.

As estimativas de perdas de vidas humanas são permeadas por incertezas

Análise de Risco

Estimativa de Perdas de Vidas Humanas

As estimativas de perdas de vidas em acidentes relacionados a barragem são permeadas por diversas incertezas, pois são altamente dependentes de vários fatores como o tempo de falha da barragem (hora, dia, estação), condições da existente do momento da falha (chuva, neve, escuridão). Não se sabe quando o aviso será emitido, pois são dependentes de várias considerações por parte das mineradoras. As estimativas de atingimento da mancha de inundação, realizadas através de modelagem matemática são imprecisas, devido principalmente a sua complexidade.

Ainda assim Graham (1999), elaborou uma estimativa de perdas de vida baseando-se em dados estatísticos de mais de 400 acidentes com barragens que ocorreram entre 1960 e 1998. Esta estimativa orienta-se através de três tipos de informação: **a severidade da inundação, o tempo de alerta, o entendimento da severidade da inundação e o número de pessoas afetadas.**

Severidade da inundação

Relaciona-se com o potencial de destruição: considera-se **severidade baixa** quando as moradias e afins não são levados de suas fundações; **a severidade média** ocorre quando as casas são destruídas, mas as árvores ou as casas destroçadas permanecem para que as pessoas busquem refúgio e; **a severidade alta** ocorre quando a inundação varre a área e nada permanece.

Geralmente, a severidade pode ser associada a velocidade da onda de inundação. Esse dado está disponível nos estudos de rompimento hipotético de barragem (*Dam Break*) apresentado no PAEBM

Tempo de alerta

Refere-se ao tempo decorrido entre o alerta de rompimento e o tempo de chegada da onda de inundação:

Nenhum aviso significativo, 15 a 60 minutos e mais de 60 minutos.

Entendimento sobre a severidade da inundação

Entendimento dos emissores sobre a gravidade da inundação: **a compreensão é vaga** quando os emissores de alerta não compreendem a verdadeira magnitude da inundação e; **o entendimento é preciso** quando os emissores de alerta têm uma excelente compreensão das inundações.

Número de pessoas afetadas

É a quantidade de pessoas que podem ser afetadas pela onda de inundação. Esse número pode ser calculado de forma prática através da contagem de unidades residenciais em imagens de satélite. Multiplica-se posteriormente o valor encontrado, pelo número médio de pessoas por moradia, fornecido pelo Censo 2010 do IBGE. Esse valor pode variar, por estado. No Pará, por exemplo, o número médio de pessoas por moradia é 4,1. Existem outras formas mais precisas para estimar esse valor e podem ser utilizadas, porém exigem tempo e outros tipos de dados.

Estatísticas de perda

50% das mortes ocorreram a 4,8 km ou menos de uma barragem que falhou. Mais de 99% das mortes ocorreram a 24 km ou menos. E as falhas em barragens com menos de 15 m de altura causou 88% das mortes. Essas barragens não são suficientemente altas para serem incluídas no inventário ICOLD (Graham, 1999)

A soma dos Índices de Falha é representar Potencial de Falha da barragem

Análise de Risco

Estimativa de Perdas de Vidas Humanas

As informações de severidade da inundação, o tempo de alerta e o entendimento sobre a severidade são associados ao índice de fatalidade, conforme a **Tabela 3**. O limiar correspondente a barragem em estudo **é multiplicado pelo número de pessoas, obtendo-se assim o estimativa de perdas de vida.**

Tabela 3. Índice de Fatalidade elaborado por Graham (1999)

Severidade da Inundação	Tempo de alerta (minutos)	Entendimento da Severidade da Inundação	Índice de Fatalidade (Fração das pessoas em risco com expectativa de morte)	
			Sugerido	Limiar Sugerido
Alta	Sem aviso	Não aplicável	0,75	0,30 a 1,0
	15 a 60	Vago	Use os valores mostrados acima e aplique-se ao número de pessoas que permanecem na planície de inundação da falha da barragem depois que os avisos são emitidos. Nenhuma orientação é fornecida sobre quantas pessoas permanecerão na planície de inundação.	
		Preciso		
	> 60	Vago		
Média		Preciso		
	Sem aviso	Não aplicável	0,15	0,03 a 0,35
	15 a 60	Vago	0,04	0,01 a 0,08
		Preciso	0,02	0,005 a 0,04
Baixa	> 60	Vago	0,03	0,005 a 0,06
		Preciso	0,01	0,002 a 0,02
	Sem aviso	Não aplicável	0,01	0,0 a 0,02
	15 a 60	Vago	0,007	0,0 a 0,015
		Preciso	0,002	0,0 a 0,004
	> 60	Vago	0,003	0,0 a 0,0006
		Preciso	0,0002	0,0 a 0,0004

A soma dos Índices de Falha representará Potencial de Falha da barragem

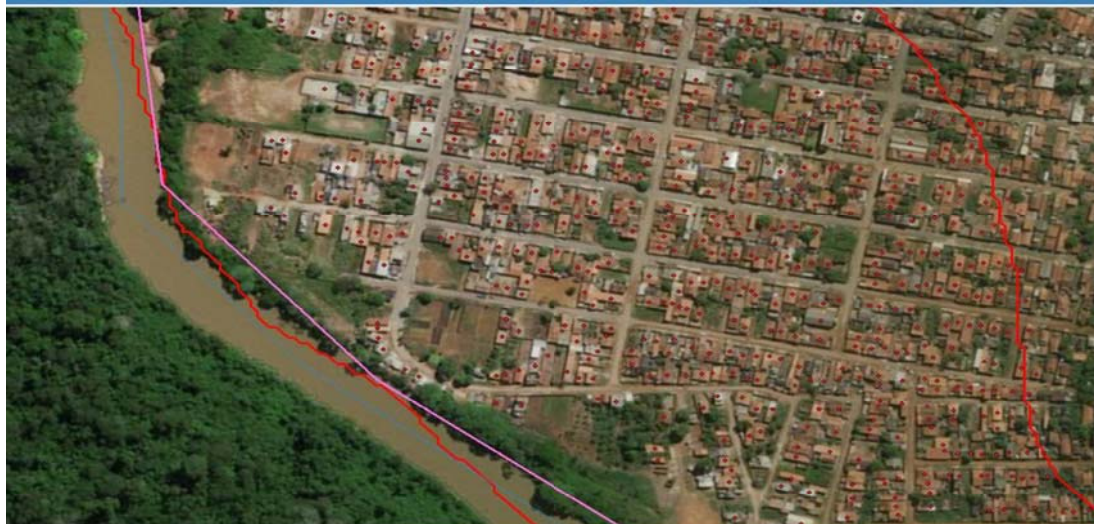


Figura 3. Imagem de satélite utilizada para contagem das moradias dentro da mancha de inundação. Os pontos vermelhos indicam as moradias e a linha em vermelha indica o limite da mancha de inundação modelada pela análise de rompimento de barragem (Dam Break)

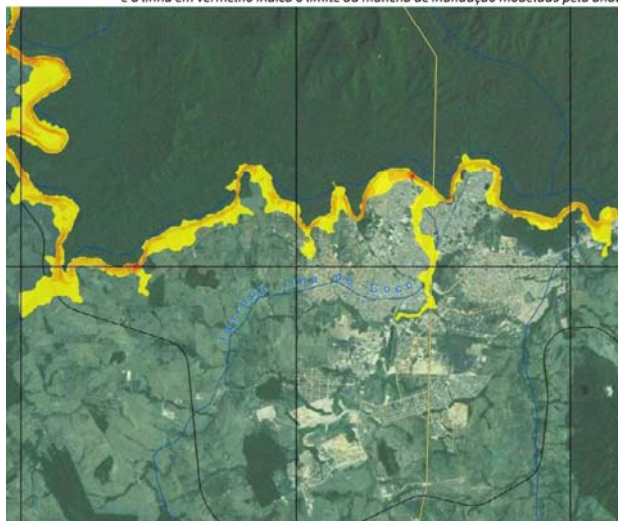


Figura 4. Estudo de Dam Break. Cenário de velocidade máxima. Esse tipo de modelagem pode indicar a severidade da inundação.

Os valores de IF de cada cenário são multi- plicados pelas perdas, obtendo-se o IRT

Análise de Risco

Índice de Risco

Realizadas as duas etapas anteriores (determinação do índice de falha da barragem e potencial de perdas de vidas humanas), os valores obtidos são multiplicados para determinar o Índice de Risco da barragem.

É importante ressaltar que este índice está diretamente ligado ao número de pessoas atingidas. Logo, o número de pessoas é determinante para um risco elevado, mesmo que o índice de falha seja consideravelmente elevado. Do mesmo modo, uma grande área de atingimento em caso de acidente não garante também um risco alto.

Na metodologia da USBR, os danos socioambientais não são tratados. Entretanto Valérius (2014), incluiu a Estimativa de Danos Socioambientais, que será mostrada a seguir.

Vamos a um exemplo:

Supondo que:

1. Para cada cenário, o IF foi:
 - Condição Estática = 132,1
 - Hidrológico = 120,34
 - Sísmico = 60,0
 - O&M = 30
2. O Potencial de Perdas de Vidas foi igual a 3 (indicando que de todas as pessoas afetadas, três delas tem chance de vir a óbito).
3. Multiplica-se o Potencial de Perdas de Vidas por cada cenário, resultando no IR de cada um deles:
 - $132,1 \times 3 = 393,3$
 - $120,34 \times 3 = 361,02$
 - $60,0 \times 3 = 180,0$
 - $30 \times 3 = 90,0$
4. A soma dos IR's é o índice de Risco Total da barragem:
 - **IRT = 1.024,32**

Os Danos Socioambientais são medidos pelos transtornos causados

Análise de Risco

Danos Socioambientais

Este tipo de dano implica na exposição do rejeito proveniente do rompimento da barragem ao meio ambiente, ao espaço urbano e rural. Em curto prazo - horas ou meses - a qualidade da água, dos sedimentos, e da biota aquática é afetada. No médio e longo prazo - anos ou séculos - os solos, a planície como um todo e a vegetação podem ser afetadas, principalmente na presença de minerais metálicos, influenciando negativamente na pecuária e na agricultura.

Nesse aspecto, relacionam-se a qualidade do rejeito (NBR 10004 - ABNT, 2004) armazenado aos danos causados ao ambiente, através de um sistema de pontuação, conforme a **Tabela 4**.

Tabela 4. classificação do dano socioambiental

Danos causados	Propriedade dos rejeitos armazenados (NBR 10004 - ABNT, 2004)		
	Perigoso	Não inerte	Inerte
Ruptura poderá causar transtornos para o abastecimento de água de alguma cidade	4	4	1
Ruptura poderá afetar alguma área de conservação ambiental	4	1	0,5
Ruptura poderá afetar um núcleo urbano	6	3	4
Ruptura poderá causar danos à mineradora	2	1	0,5
Ruptura poderá causar danos sobre corpos de água superficiais	2	1	0,5
Ruptura poderá afetar núcleos rurais	4	4	1
Ruptura poderá afetar estradas, pontes, rodovias, rede de energia elétrica e/ou telecomunicação, ferrovias, etc.	4	1	0,5

Conforme a soma das pontuações, o dano pode ser qualificado como:

- Dano Extremo se $\Sigma \geq 6$
- Dano Muito Alto se $\Sigma \geq 4 < 6$
- Dano Alto se $\Sigma \geq 2 < 4$
- Dano Considerável se $\Sigma < 2$

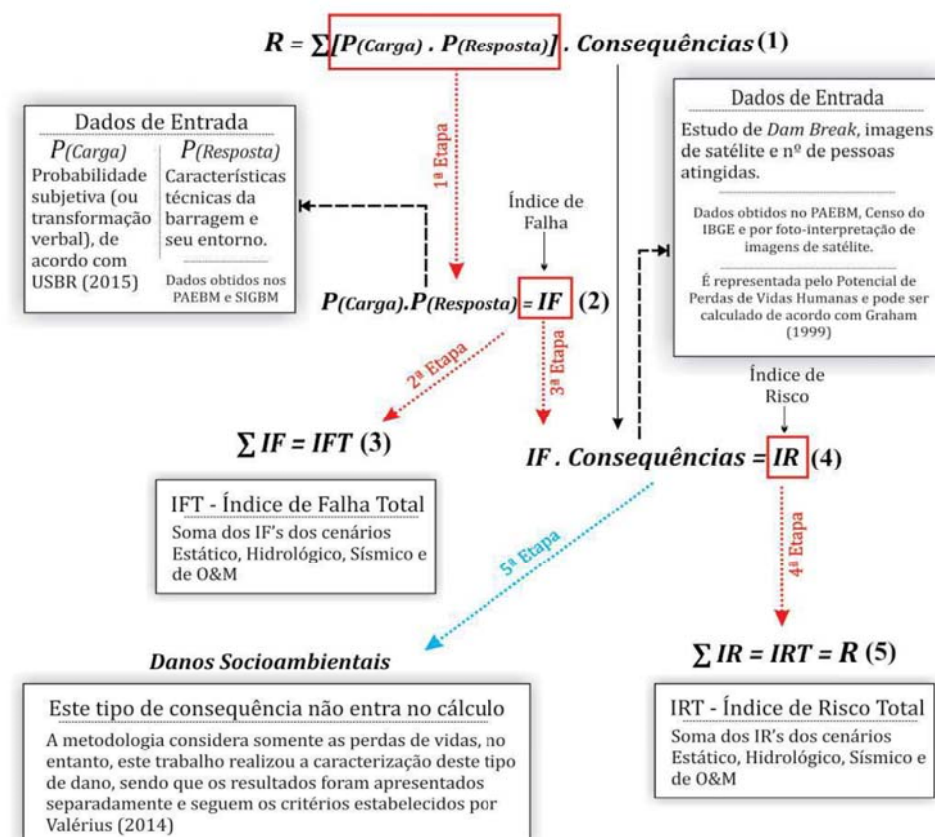
NBR 10004

resíduos classe I – Perigosos: podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente;
resíduos classe II A – Não inertes: podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água;
resíduo classe II B – Inertes: na água, seus constituintes não são solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, exceto aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

O fluxograma é uma forma simples e eficiente de entender a metodologia

Análise de Risco

Fluxograma resumido da análise de risco RBPS



É importante a sumarização dos resultados da análise em tabelas e gráficos

Resultados da Análise

Os resultados da análise de risco podem ser resumidos em tabelas ou gráficos que sumarizem os principais resultados:

- 1. Devem constar os Fatores de Carga, os Fatores de Resposta, os Índices de Falha, o Potencial de Perdas de Vidas Humanas, o Índice de Risco em todos os cenários estudados, além da população em risco (Tabela 5).
- 2. É importante comparar os IF's obtidos, assim como os IR's (Figura 3).
- 3. Outro aspecto relevante é realizar descrições detalhadas sobre os danos socioambientais, indicando a área total atingida, se afetará áreas de proteção especial (APA, AI, FLONA, Parques Nacionais, etc.), se afetará áreas urbanas (se possível indicar a área total, bairros, drenagens, sistema de abastecimento de água, telecomunicação, energia, etc.) ou rurais (comunidades, fazendas, se possível indicar a área total, porcentagem de moradias, etc.), citar impactos a fauna e a flora regionais, remoção e alteração da cobertura do solo, deposição de rejeito, alteração da calha de drenagem, entre outros (Tabela 6).
- 4. Realizar comparação entre a metodologia adotada pelo DNPM (Resolução nº 143/CNRH) e análise realizada (Tabela 7).

Tabela 5. Exemplo de resumo dos resultados da análise

Barragem	Cenários de solicitação	Fator de Carga	Fator de Resposta	Índice de Falha	Pot. de Perdas de Vidas Humanas	Índice de Risco	População em Risco
Barragem A	Condição estática	0,99	134,00	132,66	2,58	342,26	12900
	Hidrológico	0,9	150,00	135,00		348,30	
	Sísmico	0,5	158,00	79,00		203,82	
	O&M	-	29,00	29,00		74,82	
	Total	-	471	375,66	-	969,20	-



Figura 5. Comparativo dos fatores de resposta dos cenários avaliados

Os PAEBM são a fonte de informação sobre os Danos Socioambientais

Resultados da Análise

Os dados para a descrição dos danos socioambientais podem ser obtidos diretamente do PAEBM, nos resultados do estudo de ruptura hipotética da barragem (Dam Break). Além disso, é possível realizar análises espaciais em ambiente SIG, para obtenção de informações complementares.

Tabela 6. Exemplo de descrição dos possíveis danos socioambientais

Barragem	Propriedade dos rejeitos armazenados (NBR 10004 – ABNT, 2004)	Danos possivelmente causados
Barragem A	Não inerte	1. Área potencialmente afetada: 57,0 km²;
		2. Atingimento de 3,6 km² (6%) do núcleo urbano de _____, afetando possivelmente o sistema de abastecimento de água e de distribuição elétrica;
		3. Atingimento da borda leste da Floresta Nacional _____, afetando entre 0,1 e 0,2% da sua área total;
		4. Atingimento de 4,5 km² (0,6%) da recém-criado Parque Nacional;
		5. Atingimento de parte da Vila, 5 km a leste da barragem, e demais propriedades rurais a jusante, com atingimento de moradias, plantações, pastos, açudes, etc.;
		6. Ruptura poderá causar danos sobre o rio e seus afluentes;
		7. Atingimento pontes, estradas, rodovias e ferrovias, ambas em trechos localizados a norte de cidade de Parauapebas;
		8. Destruição do <i>habitat</i> de espécies animais, vegetais e da biota aquática, remoção da cobertura do solo e deposição de rejeito;
		9. Impactos nas instalações da mineradora.

Em parte é possível fazer comparações entre os critérios de análise vigente no país e a apresentada neste documento

Resultados da Análise

As comparações entre as metodologias podem ser realizadas em forma de tabelas. É importante ter em mente que, por analogia, é possível associar em parte a Categoria de Risco (CR) e o Dano Potencial Associado (DPA) da análise de risco estabelecida pela Resolução nº 143/CNRH, respectivamente, com Índice de Falha Total (IFT) e o Índice de Risco Total (IRT). E para efeitos comparativos é possível dividir o IFT nas classes Alta (> 666 pontos), Média (> 333 ≤ 666 pontos) e Baixa (≤ 333 pontos).

Tabela 7. Exemplo de tabela comparativa entre as metodologias

Barra-gem	Análise de risco utilizada no Brasil				Análise RBPS						
	CR	DPA	Classe	Popu-lação	Índice de Falha Total		Índice de Risco Total	Índice Socio-econômi-co	Dano socio-ambiental		Popula-ção
Barra-gem A	Baixa	Alto	B	501 - 1000	375,66	Médio	969,2	4846,01	11	Extre-mo	12.900

A metodologia apresentada pode ser atu-alizada constantemente

Considerações Finais

A análise apresentada neste guia mostrou-se bastante interessante e viável do ponto de vista da disponibilidade de dados para a sua elaboração. Ainda assim, algumas fontes de incerteza estão bastante presentes. Uma das incertezas está relacionada aos estudos de *Dam Break*, que são extremamente complexos e exigem de dados de alta qualidade para obtenção de resultados consistentes. Entretanto, todos os estudos de *Dam Break* avaliados foram modelados a partir de MDE's SRTM, principalmente na área urbana afetada. Este tipo de dados é incompatíveis com a escala da análise, podendo interferir, principalmente nos limites das áreas inundadas, consequentemente na estimativa de perdas de vida e nos danos socioambientais. Além disso, pode ocorrer a indisponibilidade de dados importantes para a análise dos fatores de resposta obrigar a adoção de valores médios ou ainda a retirada de determinado parâmetro. Outra incerteza preponderante é a condição de vulnerabilidade e o entendimento do risco por parte da população. Em âmbito geral as condições de governabilidade municipais, estaduais e federais que vão ditar, em parte, a resiliência nas áreas a jusante. Ressaltasse ainda, que parâmetros podem ser adicionados, modifica-dos ou retirados para uma melhor caracterização da barragem, desde que respeite as categorias de pontuação dos fatores de resposta. É possível futuramente, adicionar aspectos relacionados a valoração do risco, indicando em termos monetários o custeio que as perdas e danos podem impor às eferas habiracionais, comerciais, industriais e governamentais.

Bibliografia Consultada

To Study International Practice and Use of Risk Assessment in Dam Management.

Autor: MCGRATH, S.

Disponível em: <<https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/churchillreport.pdf>>

A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure. U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation Dam Safety Office, n. September, p. 43, 1999

Autor: GRAHAM, W.

Disponível em: <<https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/TechDev/DSOTechDev/DSO-99-06.pdf>>

Review of risk based prioritization/decision making methodologies for dams.

Autor: HARRALD, J. R.

Disponível em: <http://www.gwu.edu/~icdrm/publications/USACE_ICDRM_RepApr29.pdf>.

Cadastro e Análise do Potencial de Risco das Barragens de Rejeitos de Mineração do Estado de Goiás. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2014.

Autor: VALERIUS, M. B.

Disponível em: <<http://www.geotecnia.unb.br/downloads/dissertacoes/245-2014.pdf>>

Risk Management - Best Practices and Risk Methodology: Chapter I-6, Subjective Probability and Expert Elicitation.

Autor: U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation (USBR).

Disponível em: <<https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/I-6-20150608.pdf>>.

The risk, public liability & economics of tailings storage facility failures

Autores: BOWKER, L. N.; CHAMBERS, D. M.

Disponível em: <https://www.earthworksaction.org/files/pubs-others/BowkerChambers-RiskPublicLiability_EconomicsOfTailingsStorageFacility Failures-23Jul15.pdf>

Reported tailings dam failures. A review of the European incidents in the worldwide context. Journal of Hazardous Materials, v. 152, n. 2, p. 846-852, 2008.

Autores: RICO, M. et al.

Environmental Impacts of Mining Operations A Case Study: Monitoring the Impacts at Abu Tartour Phosphate Mine, Egypt. v. 1, n. 4, p. 1-6, 2011

Autores: AHMED & TAHLAWI.

Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/257351613_Environmental_Impacts_of_Mining_Operations_a_Case_Study_Monitoring_the_Impacts_of_Abu_Tartour_Phosphate_Mine_Egypt>

Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. Applied Geochemistry, v. 51, p. 229-245, 2014.

Autores: KOSSOFF, D. et al.

Anexos

Tabela de Pontuação dos fatores de carga do Cenário de Condição Estática

Categorias	Probabilidade atribuída	Pontuações	
	Perigoso	Individual	Total
Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga	Único ponto, de montante para jusante	50	50
	Único ponto, de jusante para montante	40	
	Descarga em vários pontos, de jusante para montante	20	
	De jusante para montante com <i>spray-bars</i>	10	
	De jusante para montante em vários pontos e com ciclonagem	8	
Proteção do talude de jusante	Não existe	10	10
	Vegetação	5	
	Rip rap	3	
	Outra (considerar eficiência)	1 a 9	
Monitoramento da linha piezométrica do talude	Não existe monitoramento	60	60
	Existe monitoramento	15	
	Existe monitoramento com níveis de alerta	5	
Fator de segurança de operação	< 1,3	50	50
	≥ 1,3 < 1,5	35	
	≥ 1,5	10	
Volume armazenado	≤ 500 mil m³	2	10
	> 500 mil ≤ 5 milhões m³	4	
	> 5 milhões m³ ≤ 25 milhões m³	6	
	> 25 milhões m³ ≤ 50 milhões m³	8	
	> 50 milhões m³	10	
Verificação da água infiltrada no talude	Vazamento lamacento e com aumentos súbitos	50	50
	Vazamento lamacento	45	
	Vazamento límpido, aumentando gradualmente	30	
	Vazamento límpido e estável	20	
	Pequeno vazamento	15	
Sistema de drenagem superficial	Nenhum vazamento verificado	2	20
	Nenhum	20	
	Em más condições	10	
	Em boas condições	5	
Sistema de drenagem interna	Nenhum	40	40
	Tapete drenante	30	
	Dreno de Pé	20	
	Poços de Alívio	15	
	Em parte dos alteamentos	10	
	Em todos os alteamentos	5	
	Conjunto de Equipamentos drenantes	3	
Problemas verificados no corpo da barragem	Outro tipo de drenagem (considerar eficiência)	39	10
	Trincas	4	
	Deterioração dos taludes	2	
	Vazamento em tubulação de equipamento de descarga	2	
Erosão no talude de jusante		2	10
Outros problemas (considerar a gravidade)		Σ de todos os problemas não pode ser maior que 10	

Tabela de Pontuação dos fatores de carga do Cenário Hidrológico

Categorias	Probabilidade atribuída	Pontuações	
		Individual	Total
Vazão de projeto dos vertedouros	10000 anos	5	55
	1000 anos	20	
	500 anos	40	
	< 500 anos ou desconhecido	55	
Sistema alternativo de descarga das vazões	Bombeamento	15	30
	Outro (considerar eficiência)	1 até 29	
	Nenhum	30	
Sistema de drenagem superficial	Nenhum	20	20
	Em más condições	10	
	Em boas condições	5	
Sistema de drenagem interna	Nenhum	40	40
	Tapete drenante	30	
	Dreno de Pé	20	
	Poços de Alívio	15	
	Em parte dos alteamentos	10	
	Em todos os alteamentos	5	
	Conjunto de Equipamentos drenantes	3	
	Outro tipo de drenagem (considerar eficiência)	39	
	Único ponto, de montante para jusante	35	
Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga	Único ponto, de jusante para montante	25	35
	Descarga em vários pontos, de jusante para montante	15	
	De jusante para montante com <i>spray-bars</i>	5	
	De jusante para montante em vários pontos e com ciclonagem	3	
Proteção do talude de jusante	Não existe	10	10
	Vegetação	5	
	Rip-rap	3	
Monitoramento da linha piezométrica do talude	Outra (considerar eficiência)	1 até 9	30
	Não existe monitoramento	30	
	Existe monitoramento	15	
Configuração do depósito	Existe monitoramento com níveis de alerta	5	10
	Em vale	10	
	Em fundo de vale	8	
	Em meia encosta	6	
Fator de segurança para falha no sistema de drenagem	Em dique fechado	4	50
	< 1,3	50	
	≥ 1,3 < 1,5	40	
	≥ 1,5	20	
	Não avaliado	35	
Volume armazenado	≤ 500 mil m³	2	10
	> 500 mil ≤ 5 milhões m³	4	
	> 5 milhões m³ ≤ 25 milhões m³	6	
	> 25 milhões m³ ≤ 50 milhões m³	8	
	> 50 milhões m³	10	
Área do reservatório	0,5 a 1 km²	4	10
	1 a 1,5 km²	6	
	1,5 a 2 km²	8	
	> 2 km²	10	

Tabela de Pontuação dos fatores de carga do Cenário Sísmico

Categorias	Probabilidade atribuída	Pontuações	
		Individual	Máxima
Nível de vibração causado pelo plano de fogo	Alto	20	20
	Médio	10	
	Baixo	5	
	Não realiza monitoramento	10	
Sismicidade da região (casos históricos)	Desconhecido	20	20
	Médio	10	
	Baixo	5	
	Trincas	15	
Problemas verificados no corpo da barragem	Deterioração dos taludes	5	30
	Vazamento em tubulação de equipamento de descarga	5	
	Erosão no talude de jusante	5	
	Outros problemas (considerar a gravidade)	Σ de todos os problemas não pode ser maior que 30	
Fator de segurança para eventos sísmicos	< 1,3	80	80
	≥ 1,3 < 1,5	70	
	≥ 1,5	10	
	Não avaliado	50	
Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga	Único ponto, de montante para jusante	60	60
	Único ponto, de jusante para montante	50	
	Descarga em vários pontos, de jusante para montante	35	
	De jusante para montante com spray-bars	15	
	De jusante para montante em vários pontos e com ciclonagem	10	
Monitoramento da linha piezométrica do talude	Não existe monitoramento	45	45
	Existe monitoramento	20	
	Existe monitoramento com níveis de alerta	8	
Sistema de drenagem interna	Nenhum	35	35
	Tapete drenante	30	
	Dreno de Pé	20	
	Poços de Alívio	15	
	Em parte dos alteamentos	10	
	Em todos os alteamentos	5	
	Conjunto de Equipamentos drenantes	3	
	Outro tipo de drenagem (considerar eficiência)	34	
Existência de estradas e/ou ferrovias próximas	Sim	10	10
	Não	3	

Tabela de Pontuação dos fatores de carga do cenário de Operação e Manutenção (O&M)

Categoria	Probabilidade atribuída	Pontuações	
		Individual	Total
Plano de ação emergencial	Não possui (Quando obrigatório)	40	40
	Não possui (Não obrigatório)	20	
	Possui – avaliar abrangência/qualidade dos dados e determinar pontuação	1 a 39	
Documentação de projeto	Projeto executivo e “como construído”	5	20
	Projeto executivo ou “como construído	10	
	Projeto básico	15	
	Não há projeto	20	
Manuais e procedimentos para inspeção de segurança	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação	2	10
	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento	5	
	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção	10	
Cópias dos PAE's entregues aos órgãos competentes	Sim	2	5
	Não	5	
Relatórios de inspeção e Análise de Segurança	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de análise de segurança	2	15
	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança	5	
	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento	10	
	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual	15	
Infrações cometidas	Multa aplicada nos últimos 10 anos	10	10
	Advertência aplicada nos últimos 5 anos	2	
	Outro tipo de infração (considerar relevância)	Σ de todos os problemas não pode ser maior que 10	



CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Conheça mais sobre os trabalhos de Gestão Territorial e Mapeamento de Áreas de Risco do Serviço Geológico do Brasil em <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos-38>