



ANÁLISES QUANTITATIVAS DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO NO BRASIL

Palavras-Chave: Barragem de Rejeitos, Rompimento, *Incidentes*.

Autores/as:

Deivid Henrique da Silva [Unicamp]

Prof^a. Dr^a. Laura Maria Canno Ferreira Fais (orientadora) [Unicamp]

INTRODUÇÃO:

Uma barragem é definida como qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (Brasil, 2020).

O Brasil se destaca no mundo na sua produção mineral, sendo um país de grande importância nesse cenário global. Assim, a construção de barragens de contenção de rejeitos é resultado da necessidade de um local para se armazenar rejeitos, pois, com o aumento e avanço da tecnologia, os descartes se tornaram maiores e seu depósito na natureza não era mais desprezível. (IBRAM, 2016; MACHADO et al., 2017)

No Brasil, em 2017 foi promulgada a Portaria n. 70.389 gerou o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, que exigiu o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e seu conteúdo mínimo, a periodicidade em planos de execução ou atualização, a descrição e qualificação dos responsáveis técnicos, inspeções regulares e especiais e uma revisão no plano de ação de emergência para as barragens, além de garantir a atualização periódica desses dados.

As fiscalizações ficaram a cargo da Agência Nacional de Mineração (ANM), antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), e há ainda dificuldade na fiscalização, já que muitas barragens ainda não possuem cadastro. Ademais, a Legislação exige a elaboração de um Plano de Ação Emergencial para acidentes e um estudo da área afetada com um futuro rompimento, denominado estudo de *dam break*.

Os estudos de *dam break* podem ser elaborados utilizando softwares de Fluidodinâmica Computacional (CFD), tais como *Flow 2D* e *Ansys CFX*, ou utilizando o software *HEC RAS*, desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineering (USACE)*. Entretanto, estes softwares foram desenvolvidos para fluidos newtonianos, o que torna estes modelos imprecisos. Além disso, a maioria dos rompimentos de barragens ao redor do mundo não estão documentados, o que dificulta a validação de tais modelos; a falta de dados da estrutura como altura, tipo de fundação, comprimento e pico de vazões, faz com que os resultados tenham variância, dependendo das equações utilizadas. (MACHADO et al. 2017; PEREIRA, 2018; CONCEIÇÃO e FONTES, 2017).

Larrali e Lall (2018) realizam um estudo estatístico, a partir de modelos de cópulas para estimar o volume liberado e a onda de cheia em um rompimento de barragem. Os resultados forneceram uma boa estimativa, porém, os autores citam a falta de maiores dados e descrições como um obstáculo no estudo.

Tanto para modelos matemáticos como para modelos estatísticos são necessários dados para que estes modelos sejam validados. Portanto, é importante o levantamento e divulgação de dados sobre rupturas de barragens, para que sirvam como base em pesquisas e análises estatísticas com a finalidade de possibilitar o estudo em modelos.

Assim, este trabalho tem como objetivo levantar informações sobre rupturas de barragens de rejeito do Brasil e do mundo para a elaboração de um banco de dados sistematizado, que possa ser utilizado em futuras pesquisas para o aprimoramento de medidas de segurança.

METODOLOGIA:

Para a realização deste trabalho, realizada uma revisão bibliográfica a partir de publicações constantes de bases nacionais e internacionais que contenham periódicos, teses, dissertações e relatórios técnicos. As bases selecionadas para o levantamento bibliográfico são: o Portal de Periódicos CAPES/SCOPUS, SciELO, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações: BDTD e MDPI - *Publisher of Open Access Journals*.

Para criação da base de dados, foram consideradas as seguintes categorias: Número, localização da Barragem, ano de ruptura, altura da lâmina d'água no momento de rompimento (H), Volume Total armazenado (VT), Distância atingida pela água (DMáx), Volume liberado (VF), Tipo de rompimento e Fonte dos dados, além de outras informações importantes para o estudo dos acidentes. A sistematização das informações foi realizada por meio de recursos digitais e planilhas de Excel.

A fim de comparações, foram realizados dois gráficos, mostrando no primeiro a porcentagem de rejeito que foi despejado com o rompimento, e o segundo comparando os tipos de barragens construídas e a relação percentual delas nos incidentes ao longo do mundo, buscando uma similaridade nos tipos de construções que se romperam, fazendo com que seja possível uma análise separada para avaliação em próximas construções.

Todos os dados compilados em planilhas, ou os cálculos e gráficos para comparações foram realizados no Excel 2016 (Microsoft Excel® 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir do levantamento realizado foi elaborada uma tabela no Excel com os seguintes dados: nome, proprietário e localização da barragem, data do acidente, número de vítimas, localização da barragem, altura da lâmina d'água no momento de rompimento (H), volume total armazenado (V_T), distância atingida pela água ($D_{Máx}$), Volume liberado (V_F), Tipo de rompimento e Fonte dos dados. Algumas informações com relevância para a futura utilização dessa base de dados foram adicionadas à tabela.

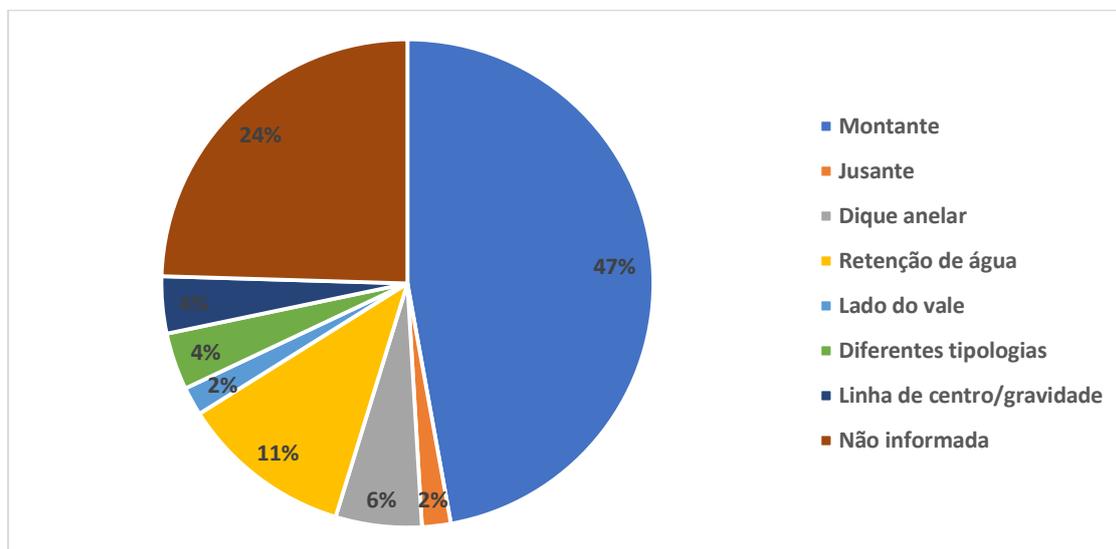
Foi possível encontrar dados de 53 barragens, e estes foram listados em ordem cronológica dos acidentes, conforme mostra-se na Tabela 1. A primeira dificuldade na elaboração da base de dados foi a obtenção de todas as informações de todas as barragens analisadas

Tabela 1. Dados de rompimentos de barragens de rejeito ao redor do mundo

Dados das Barragens de Rejeitos Rompidas																									
Nome (ou "apelido")	Proprietário (empresa ou grupo)	Localização				Construção				Altura (m)		Volume		Onda de Cheia		Características		Rejeito Armazenado		Data do Rompimento ou Acidente			Mortes (humanas)		
		Cidade, UF	País	Curso d'água	Coordenadas	Tipo de Barragem	Método Utilizado	Ano	Enchimento	Inicial	Aumentos	Reservatório	Liberado no rompimento	Altura	Pico da Vazão	Vale	Jusante	(material e componentes)	Horas	Dia	Mês	Ano			
Velha barragem de El Cobre		Valparaiso, distrito de El Cobre	Chile			Upstream	T			35		4,25 milhões de m ³	1,9 milhões de m ³						Minério de cobre	12:35	28	Março	1965	>200	
Bellavista			Chile			Upstream	RING			20		450.000 m ³	70.000 m ³										1965		
Cerro Negro No.3			Chile			Upstream				20		500.000 m ³	85.000 m ³										1965		
La Patagua New Dam			Chile			Upstream	RING			15		500.000 m ³	35.000 m ³										1965		
Los Maquis No.3			Chile			Upstream				15		43.000 m ³	21.000 m ³										1965		
Mir Mine Gypsum Tailings Dam		Zgorigrad	Bulgária		43°08'33.9"N 23°30'28.8"E	Upstream (montante)	Upstream	1960		45		1,52 milhões de m ³	450.000 m ³				Vila de Spigrad e cidade de Vratza		Minério de chumbo, zinco, cobre, prata e urânio	12:00	1	Maio	1966	488	
Aberfan	Merthyr Vale Colliery	Colliery, País de Gales	Reino Unido		51°41'30.0"N 2°29'56.8"W	Upstream	N/I			46	67	2,866 milhões de m ³	150.000 m ³				Vilarejo de Aberfan		Carvão	09:15	21	Outubro	1966	144	
Hokkaido			Japan			Upstream				12		300.000 m ³	90.000 m ³										1968		
Ruan consolidada das minas de cobre		Mufurila	Zâmbia		12°30'51.8"S 28°14'03.6"E	Upstream	N/I			50		500.000 m ³	68.000 m ³				Cidade e povoado local, casas e escolas		Minério de cobre		25	Setembro	1970	89	
Cities Service		Fort Meade, Florida	USA			Water Retention				15		12,34 milhões de m ³	9 milhões de m ³										1971		
Buffalo Creek	(Pittston Coal Co.)	Lagan Country, Virgínia Ocidental	USA		39°23'47.9"N 105°17'08.1"W	Upstream	N/I			18		500.000 m ³	500.000 m ³				Comunidades da mineração de carvão e cidade de Saunders		Carvão	08:05	26	Fevereiro	1972	125	
Galena Mine			USA			Upstream				9			3.800 m ³										1974		
Deneen Mica Yanczy Country		North Carolina	USA			Upstream	CST (rejeitos arenosos ciclados)			18		300.000 m ³	38.000 m ³										1974		
Barragem de rejeitos Merensky		Bafokeng	África do Sul		25°27'54.3"S 27°05'59.7"E	Upstream	T (rejeitos)			20		17 milhões de m ³	3 milhões de m ³						Minério de platina		11	Novembro	1974	12	
Arcturus	Corsyn Consolidated Mines	Arcturus	Zimbawe		17°40'33.7"S 31°16'41.1"E	Upstream	T			25		900.000 m ³	21.100 m ³ (38.000)						Minério de ouro e churume		31	Janeiro	1978	1	
Mochikoshi No.1			Japan			Upstream				28		480.000 m ³	80.000 m ³										1978		
Mochikoshi No.2			Japan			Upstream				19			3.000 m ³										1978		
Churchrock		New Mexico, United Nuclear	USA			Water Retention				11		370.000 m ³	370.000 m ³										1979		
Phelps-Dodge		Tyone, New Mexico	USA			Upstream				66		2,5 milhões de m ³	2 milhões de m ³										1980		
Balka Chulicheva			Russia			Upstream				25		27 milhões de m ³	3,5 milhões de m ³										1981		
Agas	Eastover Mining Co.	Harian Country, Kentucky	USA		30°50'18.9"N 83°13'29.6"W	Upstream						96.000 m ³							Carvão		18	Dezembro	1981	1	
Cerro Negro No.4			Chile			MXSQ				40		2 milhões de m ³	500.000 m ³										1985		
Veta del Agua Nº1			Chile			MXSQ				24		700.000 m ³	280.000 m ³										1985		
Ollinghouse			USA			Water Retention				5		120.000 m ³	25.000 m ³										1985		
Bonsal		North Carolina	USA			Water Retention	E (terra)			6		38.000 m ³	11.000 m ³										1985		
Stava	Mineradora Prealpi	Tesero/Trento	Itália		Rio Stava	Upstream/Linha de Centro	CST (rejeitos arenosos ciclados)			26	29,5	300.000 m ³	190.000 m ³						Minério de fluorita		19	Junho	1985	269	
Huangmeishan			China			Upstream	T												Minério de ferro				1986	19	
Mina Fernandinho	Itaminos Comercio de Minérios	Itabirito, Minas Gerais	Brasil		20°11'02.4"S 43°51'29.4"W	Gravidade	Alvenaria			30			100.000 m ³						Minério de ferro				Maio	1986	7
Jinhuicheng		Província de Shaanxi	China			Upstream	T			40		700.000 m ³							Minério de molibdênio		30	Abril	1988	20	
Standil			USA			Upstream				9		74.000 m ³	38.000 m ³										1989		
Marsa	Marsa Mining Corp.	Marsa	Peru		8°03'30.1"S 77°25'53.3"W	Upstream	T												Minério de ouro				1993	6	
Merriespruit	Harmony Gold Mines	Harmony, Virgínia	África do Sul		28°09'54.0"S 26°47'52.0"E	Upstream (paddock)	T			31		7 milhões de m ³	600.000 m ³ e 90.000 m ³ de água				Subúrbio de Merriespruit		Minério de ouro		22	Fevereiro	1994	17	
Tapo Canyon			USA			Upstream				24													1994		
Omai Mine, No.1,2	Cambior		Guyana			Water Retention				44		5,25 milhões de m ³	4,2 milhões de m ³										1995		
Placer Bay	Manila Mining Corporation	Surição do Norte	Filipinas		9°39'53.1"N 125°30'40.4"E	Water Retention	E (terra)			17			50.000 m ³						Minério de ouro e rejeitos de cianeto		2	Setembro	1995	12	
Los Frailes	Boliden Ltd.	Perto de Sevilha	Espanha			RING				27		15,20 milhões de m ³	4,6 milhões de m ³										1998		
Somes River	Aurul (pertencente a Esmeralda Explorer)	Condado de Maramures, Bala	Romênia		Córego Szamos e Rio Tisza	Upstream				7		800.000 de m ³	100.000 m ³				Rio Tisza, chegando ao rio Danúbio, contaminando a água de diversas pessoas		Líquido contaminado com cianeto e metais pesados		30	Janeiro	2000	0	
Aitik mine	Boliden Ltd.		Suécia			Upstream				15		15 milhões de m ³	1,8 milhões de m ³										2000		
Mina de Nandan Sebastião das Águas Claras	Mineração Rio Verde Ltda	Dachang, Província de Guangxi	China				N/I												Oxido de estanho		18	Outubro	2000	28	
Indústria de Papel Mineração Rio Pomba	Zhen'an County Gold Mining Co. Ltd.	Nova Lima, Minas Gerais	Brasil									600.000 m ³							Minério de ferro		22	Junho	2001	5	
Shanglou Barragem São Francisco	Mineração Rio Pomba Cataguases Ltda	Mirail	Brasil		21°23'36.4"S 42°41'51.3"W							1400 milhões de m ³							Lixivia negra e resíduos da produção de celulose		29	Março	2003	0	
Mina Mount Polley	Imperial Metals Corp	Mirail	Brasil		21°23'36.4"S 42°41'51.3"W	Valley side	T			30			2 milhões de m ³						Rejeitos de Bauxita				2006	0	
Taoshi	Tashan mining company	Milliang Zhen'na, Shaanxi	China				N/I												Rejeitos de minério de ouro		30	Abril	2006	17 (desaparecidos)	
Kolontár	MAL Magyar Alumínium Vezérlő	Xiangren, Província de Shaanxi	China			Downstream (Jusante)	R (entrocamento)			22	300m	30 milhões de m ³	900.000 m ³						Rejeitos de Bauxita e ferro		10	Janeiro	2007	0	
Mina Herculanu	Herculanu Mineração S/A	Ajka, Condado de Veszprém	Hungria			Upstream	T	1995			35m		24 milhões de m ³						Rejeitos de minério de ferro e molibdênio				2008	254	
Mina de Cieneguilla	Mineração Pargominas S/A	Itabirito	Brasil		20°15'06.4"S 42°50'32.0"W	Upstream	T			92	94m	80 milhões de m ³	34 milhões de m ³		10 metros				Rejeitos de minério de ferro		10	Setembro	2014	3	
Mina Milônia	Mineração Pargominas S/A	Mariana, MG	Brasil		20°12'29.4"S 43°27'42.2"W	Upstream	T	2005											Rejeitos de mineração (óxido de ferro, manganês e sílica)		3-4:00	5	Novembro	2015	18-22
Mina Corrego do Feijão	Mineradora Vale S.A.	Cieneguilla, Urique	México										250.000 m ³						Rejeitos com arsênio, chumbo e cádmio		4	Julho	2018	7	
		Bacarena, Pará	Brasil			Rio Murucupí													Primordialmente por aldeias indígenas e áreas de preservação				Fevereiro	2018	0
		Córrego do Feijão e Rio Paraopeba	Brasil		20°36'36.81"S 44°12'3.14"W	Upstream	T	1976		86		13 milhões de m ³	3 milhões de m ³						Município de Brumadinho, com casas, plantações, criações de animais e riachos		12:35	25	Janeiro	2019	110

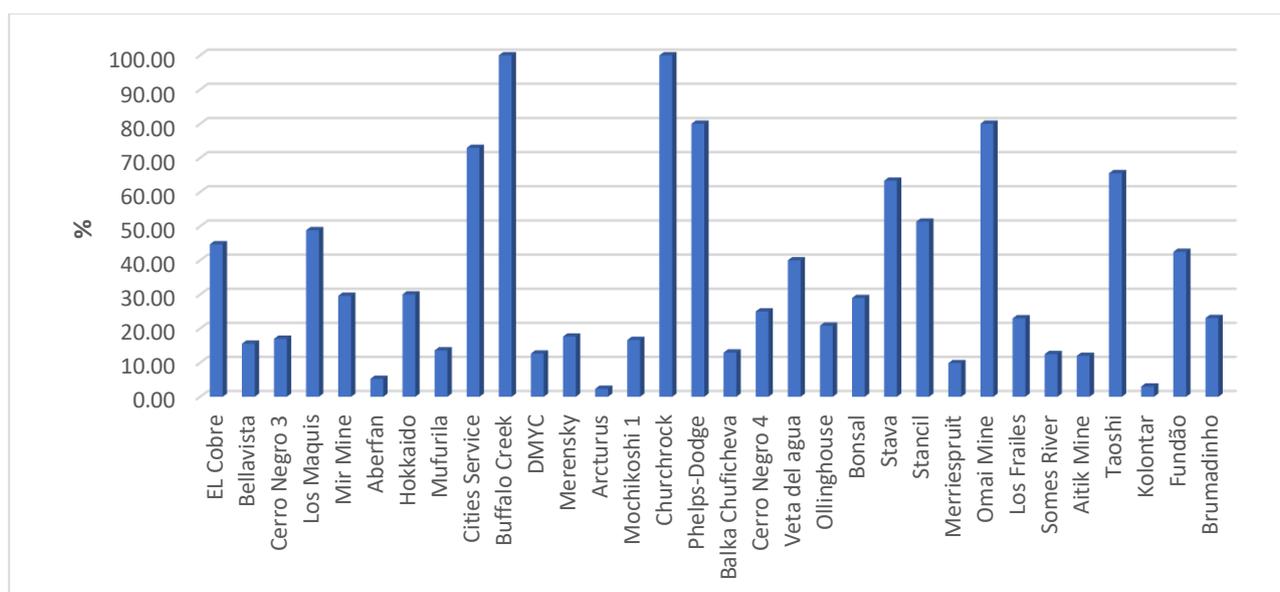
Na Figura 1 mostra-se um gráfico com os tipos de barragens rompidas. Observa-se que aquelas construídas pelo método a montante representam quase 50% dos rompimentos, retratando que esse tipo de construção dever ser estudado e revisto. Além disso, quase 25% delas não havia informação sobre o método construtivo, o que evidencia a necessidade de um banco com dados preciso, para que estes possam ser utilizados em estudos e análises estatísticas.

Figura 1. Tipos de barragens rompidas



Na Figura 2 mostra-se um gráfico com a porcentagem do volume do reservatório que foi liberada com o rompimento.

Figura 2. Percentual do volume de rejeito liberado no rompimento



Observa-se que somente duas barragens (Buffalo Creek e Churchrock, ambas nos EUA) tiveram todo seu volume liberado no rompimento. Enquanto que o rompimento da Barragem de Fundão, no Brasil, considerado o maior desastre ambiental dos últimos anos, teve pouco menos de

50% do seu volume liberado; também a Barragem do Córrego do Feijão, em Brumadinho somente 20% do seu volume liberado, mas provocou a morte de mais de 200 pessoas.

CONCLUSÕES:

A necessidade de contenção de rejeitos industriais e atividades de mineração, bem como o grande potencial do Brasil para a geração de energia hidrelétrica devido à ampla disponibilidade de recursos hídricos, tem aumentado anualmente o número de barragens existentes no território nacional. Um problema associado às barragens é o comprometimento e, posteriormente, o rompimento de suas estruturas, que pode causar prejuízos ambientais, sociais e econômicos. No caso das barragens de rejeitos, ainda existe o dano ambiental relacionado à contaminação dos recursos naturais com o material que forma o rejeito.

Para se determinar o comportamento do rejeito e realizar os estudos de *dam break* de uma barragem são realizados estudos em modelos físicos e/ou matemáticos, além de análises estatísticas. Porém, para a validação dos modelos são necessários dados de rompimentos, que muitas vezes não se encontram disponíveis.

A falta de informações sobre acidentes com barragens é relevante. Na maioria das vezes, não há publicações técnico/científica com as causas dos acidentes e o impacto causado (volume liberado, área atingida, vazão de pico da onda de cheia, dentre outros). Quando há publicações, elas não estão organizadas em uma base de dados onde essa busca pode ser feita facilmente.

A fim de que os dados e informações sobre os acidentes não seja um fator limitante para estudos futuros, se torna necessário uma base de dados que contemplem os mesmos e de forma organizada, contribuindo não só para estudos, mas como para a elaboração de leis e projetos mais seguros e com os menores riscos e danos possíveis.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm. Acesso em 27 jul. 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. Portaria n. 70.389, de 17 de maio de 2017. Disponível em <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/portaria-dnpm-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017-com-alteracoes-resolucao-13-2019-n.pdf>. Acesso em 27 jul. 2021.

CONCEIÇÃO, M. P. da SILVA e FONTES, A.S. **Análise das dificuldades para definição da vazão de pico resultado de estudos de ruptura de barragens de aterro**. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, realizado de 26 de novembro a 01 de dezembro, Florianópolis, Brasil, 2017.

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração/Instituto Brasileiro de Mineração; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016. 128 p. ISBN: 978-85-61993-10-8. Disponível em:<<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf> >. Acesso em 27 jul. 2021.

MACHADO, N.C.; ÁGUIDO, A.C.; BAPTISTA, M.B.; SALIBA, A.P. **Estudo de caso da ruptura da barragem do Fundão – Modelagem Hidráulica**. In: II Seminário Gestão de Riscos Segurança de Barragens de Rejeito (SGBR), realizado de 15 a 16 de maio de 2017, Belo Horizonte, Brasil.

PEREIRA, Geraldo Magela. **Acidentes e Rupturas de Barragens** - 2018.

RICO, M.; BENITO, G.; DÍEZ-HERRERO, A. Floods from tailings dam failures. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, n. 1–3, p. 79–87, 2008.