



RELISE

QUESTÕES HISTÓRICAS E TÉCNICAS DAS BARRAGENS DE REJEITO DE MINERAÇÃO: PASSIVOS AMBIENTAIS DE LONGO PRAZO¹

*HISTORICAL AND TECHNICAL ISSUES OF MINING TAILINGS DAMS:
LONG-TERM ENVIRONMENTAL LIABILITIES*

Tiago Soares Barcelos²

Loyslene de Freitas Mota³

RESUMO

As barragens são infraestruturas físicas utilizadas usualmente para represar cursos d'água, entretanto, tais estruturas servem também para a deposição de outros materiais, no caso desse trabalho, rejeitos minerais. Nesse sentido, essa revisão bibliográfica apresenta a história e o histórico das barragens de mineração, relatando as mais diversas evoluções. Descreve os principais rompimentos das barragens ao longo da história contemporânea, a partir dos anos 60, momento da intensificação da escala produtiva. Por fim, proporciona as formas, instrumentos, métodos, e procedimentos relacionados às barragens de rejeito, bem como as principais causas de rompimento, por uma abordagem crítica. Percebemos, portanto, que as barragens constituem rugosidades espaciais de elevado impacto, com riscos consideráveis ao ambiente natural e sociedade. Logo, deve-se levar em conta não apenas os passivos ambientais relativos às barragens, pois no momento de uma ruptura, deriva passivos do sofrimento social. Esse passivo, do sofrimento social, deve ser compreendido como o custo cultural, social, físico, psicológico, de saúde e memória dos atingidos, algo ainda não mensurável. Por mais avançado que sejam as técnicas de engenharia, pouco se avançou, se é que avançou, sobre esse tipo de passivo.

Palavras-chave: mineração, barragens de rejeitos, histórico de rompimento, metodologias construtivas, rompimentos.

¹ Recebido em 30/07/2024. Aprovado em 15/09/2024. DOI: doi.org/10.5281/zenodo.17219090

² t.s.barcelos9@gmail.com

³ loyslenef_mota@hotmail.com



RELISE

146

ABSTRACT

Dams are physical infrastructures usually used to dam watercourses, however, such structures also serve for the deposition of other materials, in the case of this work, mineral tailings. In this sense, this literature review presents the history and history of mining dams, reporting the most diverse developments. It describes the main dam disruptions throughout contemporary history, from the 1960s on, at the time of the intensification of the productive scale. Finally, it presents the forms, instruments, methods, and procedures related to tailings dams, as well as the main causes of disruption, by a critical approach. We realize, therefore, that dams constitute spatial roughness of high impact, with considerable risks to the natural environment and society. Therefore, one should take into account not only the environmental liabilities related to dams, because at the time of a rupture, passives derive from social suffering. This liability, from social suffering, must be understood as the cultural, social, physical, psychological, health and memory cost of those affected, something not yet measurable. As advanced as engineering techniques are, little progress has been made, if any, on this type of liability.

Keywords: mining, tailings dams, history of disruption, constructive methodologies, disruptions.

INTRODUÇÃO

No processo de extração mineral contemporâneo, o destino das matérias de alta entropia tem um curso por serem considerados resíduos de baixo ou nulo valor comercial. No plano operacional da mineração, a jazida se divide em minérios e resíduos, sendo que o segundo se aplica a resíduos de estéreis, efluentes e rejeitos. O foco desse trabalho se dá para os rejeitos, que dentro do processo produtivo, uma das técnicas mais utilizada, são as barragens.

Silva (2018, p. 21), reforça a importância da distinção entre resíduos e rejeitos, pois um “[...] ainda pode ter uma destinação, ser reaproveitado. Rejeito é algo inservível, não mais aproveitável”, apesar desse último conceito poder se alterar no tempo com evoluções tecnológicas se transformando em resíduos. Muitos já avaliam as possibilidades de se minerar os rejeitos das barragens, bem



RELISE

como, criar utilidades para estes recursos, entre os quais, os tijolos são bons exemplos.

Desse modo, as barragens podem ser compreendidas como uma estrutura de terra construída com o fim de armazenamento desses rejeitos que deriva do processo produtivo. Assim, existem características diversas para o rejeito que por sua vez depende do tipo de material a ser extraído, o que apresenta peculiaridades importantes ao se pensar na formação das polpas.

O presente estudo, que consiste em uma revisão bibliográfica por uma perspectiva crítica, apresenta sete seções, considerando essa introdução. Inicia-se os trabalhos analisando a estrutura das barragens de rejeito mineral, apresentando alguns elementos técnicos e demonstrando ser uma rugosidade espacial. Em seguida, apresenta a história e histórico das barragens de rejeito mineral, dando prosseguimento com as formas, instrumentos, métodos, técnicas e procedimentos relacionados com essa estrutura. Por fim, são detalhaas as principais causas para o rompimento de barragens de rejeito e como isso afeta todos os elementos espaciais (sociedade, empresas, ambiente natural, instituições do Estado e infraestrutura), apresentando as considerações finais por meio de uma abordagem crítica.

MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de um artigo teórico, de revisão bibliográfica, de natureza descritiva, com uma abordagem qualitativa-descritiva. Por meio da análise do conteúdo, apresenta uma lógica de compreender as questões históricas e técnicas das barragens de rejeito, utilizando a questão mineral como elemento central. Este trabalho tem aspectos filosóficos, tanto sob o ponto de vista ontológico, quanto epistemológico (ECO, 2008).

Este texto está relacionado com os pressupostos subjetivos, no qual emergem as informações e dados, complementando teorias já existentes, visto



RELISE

que muitas vezes as teorias não explicam adequadamente o fenômeno, permitindo ao pesquisador coletar quantas informações forem necessárias sobre o problema com a intenção de analisar, interpretar ou teorizar sobre o fenômeno (GIL, 2002). Portanto, a metodologia que sustenta este artigo partiu de um levantamento acerca do tema, admitindo a subjetividade do autor (FLICK, 2004).

A hipótese desse estudo consiste na compreensão que a lógica do modelo hegemônico produz e reproduz uma racionalidade incompatível com o primado biológico e físico, que fica explícito nos atuais rompimentos de barragens no Brasil e no mundo.

O objetivo deste trabalho consiste em fazer uma análise por uma perspectiva bibliográfica da estrutura das barragens de rejeito, bem como seu histórico e história, formas, instrumentos, métodos e técnicas construtivas e os principais motivos que causam a ruptura dessas estruturas.

Para tal, esse artigo se dá por meio de uma revisão da literatura, que nada mais é que um processo de busca, análise, descrição e compreensão de um determinado conhecimento, almejando resultados específicos. A questão orientadora do trabalho consiste na seguinte pergunta: qual o processo histórico, técnico evolutivo das barragens e quais as principais causas para o rompimento dessas estruturas?

Partindo de uma revisão integrativa, por apresentar um prisma multi e interdisciplinar, integrando os resultados com áreas do conhecimento, foi pautada uma série de revisões sistemáticas das mais diversas literaturas sobre o tema. Nesse sentido, nos baseamos em dois propósitos, sendo: i) construção de uma contextualização sobre o tema e o problema relacionado ao seu rompimento; e ii) análise das possibilidades, técnicas, ferramentas, métodos e procedimentos relacionados à concepção do referencial teórico da pesquisa.



RELISE

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura das barragens de rejeito mineral

Este trabalho tem por objetivo avançar nas análises refere à segurança das barragens de rejeito de mineração, seu gerenciamento de riscos e os planos de fechamento de mina. Inicialmente, pensando na estrutura em um contexto global, e, posteriormente, nacional (brasileiro). Levou-se em conta a atualização dos critérios de projetos de segurança de barragens de acordo com a política nacional PNSB – Lei 12.332/2010 – Legislação AMN/ANA/ANEEL, bem como as atuais mudanças e atualizações legislativas, sobretudo, após os crimes corporativos da Samarco S.A. (2015) e Vale S.A. (2019), como a portaria DNPM nº 70.389/2017, a resolução ANM nº13/2019 e a criação do Sistema Integrado de Gestão de Segurança em Barragens de Mineração (SIGBM). Esses dois episódios envolveram as barragens de rejeitos, definidas como:

[...] estruturas de engenharia projetadas para armazenar com segurança os resíduos do tratamento de minérios, uma operação que concentra os minerais que contém substâncias de interesse (neste caso, minerais de óxido de ferro, principalmente a hematita), separando-os de outros minerais. O processamento de minérios requer britagem e moagem, produzindo grãos finos o suficiente para possibilitar a separação física ou físico-química do minério de outros minerais. O minério assim concentrado passa por processamento adicional, muitas vezes em outros locais, mas os rejeitos são descartados nas imediações da mina. Embora sejam projetadas para durar por toda sua vida operacional e além (após o devido fechamento), as barragens de rejeitos (ou outras instalações de armazenamento de rejeitos) podem romper o que ocorre com muito mais frequência do que nas barragens de água (SÁNCHEZ, et al., 2018, p. 1).

Para Chammas (1989) existem três tipos de comportamento das polpas dos rejeitos: 1) Comportamento de lâmina líquida, com floculação das partículas de menor tamanho; 2) Em processo de sedimentação, apresentando comportamento semilíquido e semi-viscoso; e 3) Em processo de adensamento, comportando-se como um solo. É importante mencionar que o rejeito não é



RELISE

propriamente um solo, mas para fins geotécnicos seu comportamento é considerado equivalente à de um solo com características de baixa resistência ao cisalhamento.

Machado (2007, p. 28), ao analisar o manual *Instrumentation of Embankment Dams and Levees*, percebe que as barragens seguem uma determinação do número, tipo e localização para sua implementação; assim, essas apresentam soluções individuais. Contudo, torna-se importante que a equipe técnica compreenda os fenômenos físicos e mecânicos envolvidos nesse projeto. Machado (2007, p. 28) apresenta quatro objetivos centrais para um plano de instrumentação geotécnica:

- 1) Avaliações analíticas – consiste na análise dos dados obtidos da instrumentação geotécnica e deve ser utilizada na verificação dos parâmetros adotados no projeto;
- 2) Previsão de desempenho futuro – refere-se aos dados da instrumentação obtidos que sinalizam o comportamento futuro da barragem;
- 3) Avaliações legais – são utilizados dados de instrumentação importantes na solução de litígios relativos à construção do empreendimento; e
- 4) Desenvolvimento e verificação de projetos futuros – refere-se à economia de novos empreendimentos.

Machado (2007) acrescenta os objetivos básicos debatidos no simpósio sobre instrumentação de barragens (1996), que foram agrupados em três tópicos que merecem atenção: construção, enchimento e operação. Contudo, Machado (2007, p. 29), apresenta a seguinte estrutura:

Período construtivo:

- 1) Alertar sobre a ocorrência de possíveis anomalias no comportamento das barragens;
- 2) Possibilitar soluções menos conservadoras, permitindo economias significativas para a obra;
- 3) Fornecer informações, por retro análise dos dados de instrumentação a respeito de valores dos parâmetros dos materiais que constituem a barragem e sua fundação;
- 4) Possibilitar revisões do projeto durante o período construtivo, permitindo, caso necessário, reestudá-los em tempo de se evitar prejuízos de grandes consequências.

Período de enchimento do reservatório:

- 1) Alertar sobre a ocorrência de possíveis anomalias que possam colocar em risco a segurança da estrutura;



RELISE

151

2) Possibilitar avaliação do desempenho estrutural, geotécnico e hidráulico da obra, em função das comparações entre grandezas de medida *in-situ* e aquelas previstas por modelos teóricos ou experimentais de análise;

3) Verificar a adequação das simplificações introduzidas na hipótese do projeto.

Período operacional:

1) Verificar se a barragem está apresentando um desempenho geral satisfatório, conforme previsto no projeto. É, entretanto, neste período que se podem tirar importantes conclusões com relação à qualidade e desempenho dessa estrutura;

2) Caracterizar o comportamento no tempo dos solos e/ou do maciço rochoso de fundação determinando o prazo necessário para estabilização dos deslocamentos, tensões internas, subpressão, vazões de drenagem, etc.;

3) Caracterizar o comportamento no tempo das estruturas da barragem em função da carga hidráulica, levando-se também em consideração os efeitos das condições termo ambientais.

Esse simpósio ocorreu em 1996, antes dos grandes rompimentos, e com isso, demonstra alguns pontos importantes na visão dos engenheiros, entre os quais, soluções menos conservadoras com objetivo de redução de custo foram e continuam sendo a tônica dos projetos. Percebemos com isso, o descaso para com a natureza e as pessoas, pois está ausente na instrumentação de pontos que demonstre essas preocupações.

Desse modo, impõe a ideia de que a mineração é um sistema fechado que pouco influencia a natureza e populações, algo que os recentes rompimentos evidenciam o contrário. Há sem dúvidas preocupações quanto à redução dos riscos desses empreendimentos, principalmente no que se refere ao rompimento da barragem, todavia, a questão central está pautada nos custos e riscos operacionais e de reputação e não nas questões sociais e ambientais. A forma como tratam dessas questões não legitima a sociedade e o ambiente natural como elementos centrais de suas políticas estratégicas.

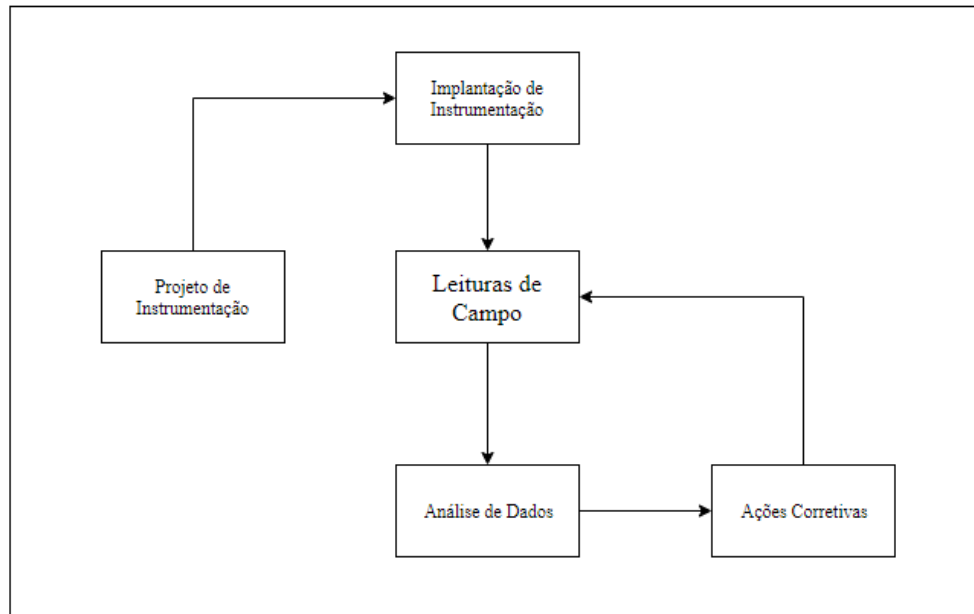
A Figura 1 apresenta um exemplo clássico da rotina estratégica com relação as barragens, carecendo compreender como a sociedade e o ambiente natural estão relacionados com os processos e ferramentas, bem como o peso, intensidade e amplitude a eles direcionados.



RELISE

152

Figura 1 - Rotina de um programa de instrumentação de barragem.



Fonte: Adaptado de MACHADO (2007, p. 33)

Oliveira (2010, p. 18), ao entrar nos requisitos e princípios norteadores do gerenciamento das barragens de rejeito, considerando “[...] à disposição segura desses resíduos e o planejamento criterioso e dinâmico das ações envolvidas na atividade de disposição, durante a operação”. Logo, essas são as métricas essenciais, para garantir a segurança da barragem. Relata ainda que a maior diferença entre as barragens de rejeito e as de hidrelétricas “[...] reside no fato de a construção das barragens de rejeito ser um processo contínuo, em desenvolvimento constante”, tornando dinâmicas durante sua execução e operação (OLIVEIRA, 2010, p. 19).

Outro destaque importante referente às barragens de rejeito se dá por ser uma das maiores estruturas visíveis da mineração, tornando-se uma rugosidade espacial. Por isso:

[...] para a mineração, que é uma atividade que manipula grandes quantidades de materiais naturais, adotar técnicas eficazes e seguras de disposição de resíduos (estéreis e rejeitos), que garantam sua estabilidade a longo prazo, pode ser mais importante que adotar estratégias de redução de resíduos (SÁNCHEZ, 2001, p. 164).



RELISE

História e histórico das barragens de rejeito mineral

Destarte, verifica-se que as barragens continuam estruturas instáveis, mesmo se valendo de técnicas e procedimentos de engenharia robustos. Na Tabela 1, a sua evolução parte de 4.800 A.C até a década de 1940. Quanto aos seus rompimentos, existe um histórico considerável de ocorrências no Brasil e no mundo. Um grande acidente foi registrado no ano de 1889, na cidade de Jonhstown, na Pennsylvania, EUA. A onda gerada foi de aproximadamente 10 metros com a velocidade de 15 m/s em direção à cidade. O número de mortos está contabilizado em aproximadamente 2.200 vítimas, fora as perdas materiais, ambientais e memórias coletivas. Em 1928, também nos EUA, em Los Angeles, Califórnia, houve um rompimento com vítimas fatais de aproximadamente 600 pessoas. A ocorrência se deu devido ao enchimento de um lago que apresentou fendas e infiltrações na barragem, pois no momento da ruptura a onda atingiu 43 metros de altura. Já no ano de 1959, a barragem Malpasset se rompeu na França, com 423 vítimas fatais, visto que a onda bateu os 50 metros de altura, deixando 79 crianças órfãs. Outro rompimento de grande impacto ocorreu em 1963, no rio Vajont, na Itália. Nesse crime corporativo, foram pelo menos 2.500 vidas perdidas, sendo que, em poucos minutos, os 115 milhões de metros cúbicos de água bloquearam completamente um vale de aproximadamente 2.500 metros (BUENO; DELPUPO, 2017, p. 2136-2141).



RELISE

Tabela 1 - Dados históricos da evolução de barragens.

ANO	REGISTRO OU OCORRÊNCIA	LOCAL
4800 a.C	Barragem de Sadd - El - Katara Altura - 12 m Destruída por transbordamento	Egito
500 a.C	Barragem de terra Altura - 12 a 27 m 13.000.000 m ³ de material	Sri Lanka
100 a.C	Barragens romanas em arcos	Norte da Itália Sul da França
1200 d.C	Barragem Madduk-Massur Altura - 90 m Destruída por transbordamento	Índia
1789	Barragem de Estrecho de Rientes Altura - 46 m Destruída logo após o primeiro enchimento	Espanha
1820	Telford introduz o uso de núcleos argilosos em barragens de terra e enrocamento	Inglaterra
Fim do séc. XIX	Barragem de Fort Peck Altura - 76 m Volume de material - 100.000.000 m ³	EUA
1856	Experiências de Darcy Velocidade de percolação da água	França
1859	Patente do primeiro rolo compactador a vapor	Inglaterra
1904	Surge o primeiro rolo compactador tipo pé de carneiro	EUA
1930-40	A mecânica dos solos consolida-se como ciência aplicada	EUA

Fonte: Adaptado de MASSAD (2010, p. 174).

Utilizando do banco de dados da organização *Wise Uranium* que apresenta em ordem cronológica os principais rompimentos de barragens de rejeitos no mundo desde os anos 60, algumas merecem destaque.

A primeira barragem rompida de alto impacto com registro na *Wise Uranium*, foi na China, da empresa Yunnan Tin Group Co, em 1962, na região de Huogudu, Gejiu, Yunnan. Com o ocorrido foram 11 aldeias destruídas, 171 mortes com 92 feridos e 13.970 pessoas desalojadas. O método construtivo, ponto que se entrará com mais detalhes nas próximas seções, foi o tipo a montante, que teve seu rompimento após chuvas moderadas no local. No ano de 1965 ocorre no Chile o rompimento de uma barragem de cobre que deixa



RELISE

aproximadamente 200 mortos que teve sua origem por liquefação devido a um terremoto. Na Bulgária, em Sgorigrad, no ano de 1966, ocorre outro rompimento, matando 488 pessoas, a falha se deu por transbordamento, com falhas no canal/desvio devido a fortes chuvas. Outro caso, com elevado número de mortos ocorreu no Reino Unido, também em 1966, em Aberfan, com 144 mortes, ocasionado por falhas durante as operações. Nos EUA, na cidade de Buffalo Creek, em 1972, houve um colapso devido às fortes chuvas, ceifando a vida de 125 pessoas e com aproximadamente US\$ 65 milhões de prejuízos apenas com danos de propriedades e rodovias. Em Stava, Trento, na Itália, se tem 268 mortes no ano de 1985. Na China, nesse mesmo ano, ocorre o rompimento em outra barragem a montante, localizado em Niujiulong, com 49 pessoas mortas. Nas Filipinas, em 1996, foram evacuadas 1.200 pessoas com um dano de aproximadamente US\$ 80 milhões na ilha Marinduque. Na Romênia, no ano 2000, ocorre o rompimento de uma mineração de ouro da Usina Aurul, poluindo o rio Tisza, que é uma afluente do rio Danúbio, afetando outros países como Hungria e a Sérvia, tornando-se um acidente de impacto internacional e transfronteiriço. A Hungria no ano de 2010, em Kolantár, também se rompe uma barragem, com várias cidades afetadas, com 10 pessoas mortas e 120 feridas. O Brasil apresenta alguns casos, mas dois em particular merecem destaques, sendo o ocorrido em 2015 no subdistrito de Mariana/MG, Bento Rodrigues com 17 mortes e em Brumadinho, em 2018, com 248 pessoas mortas e 22 desaparecidas (WISE URANIUM, 2019).

Percebemos com o levantamento acima que além dos passivos ambientais essas estruturas criam passivos do sofrimento social. Muitas mortes são contabilizadas com o rompimento dessas barragens e com a ação do tempo acabam caindo no esquecimento. Todavia, mesmo os casos em que não representam mortes, não significa que o sofrimento social foi menor. Muitas famílias ficam desalojadas, muitas pessoas se ferem, tantos outros perdem suas



RELISE

fontes de renda, memória coletiva e saúde. Esses impactos geralmente ocorrem com populações mais vulneráveis, como operários das minas, trabalhadores em geral (rural e urbano), indígenas, pessoas que pouco tem, mas que tudo perdem.

Silva (2017, p. 2) destacou que no caso brasileiro a legislação e a normativa eram omissas, agindo sempre tardiamente. Conquanto, mesmo que tardiamente, se deve criar mecanismos de mitigação de riscos e danos futuros, focado nos atingidos e em devir. Existem riscos à sociedade atual, riscos que afetam direta e indiretamente as “[...] comunidades a jusante, a montante e as adjacências, mas os impactos difusos, transindividuais e transgeracionais podem ser percebidos em médio e longo prazo, aliás, percebidos, mas incomensuráveis” (SILVA, 2017, p. 2).

Portanto, se deve entender os tipos de barragens, as principais causas de rompimento, além da sua relação com o solo, já que o rompimento não é a única forma de afetar o meio natural e sociedade. Posteriormente, devemos entrar na legislação nacional e internacional sobre o tema.

Hoje, dados os atuais rompimentos, podemos dizer que a população em geral compreende parcialmente as diferenças entre os métodos. Devido aos atuais acidentes, essa questão foi amplamente debatida e divulgada pela imprensa, trazendo à questão uma maior preocupação popular, fundamental para as políticas públicas. Cardozo, Pimenta e Zingano (2016, p. 78) fazem uma revisão das principais técnicas empregadas para a construção de barragens, já que “juntamente com as pilhas de estéreis as barragens são as maiores estruturas geotécnicas construídas pelo homem”. Azam e Li (2010), analisando a questão no âmbito mundial, identificam que 1,2% das barragens, para fins de mineração, apresentam problemas nas barragens civis, esse número é de 0,01%, diferença essa, mais que significativa.

Por isso, devemos entender as diferenças entre as barragens de rejeito de mineração das demais barragens. Para Machado (2013) e Duarte (2008), as



RELISE

barragens convencionais podem apresentar qualquer fim, todavia, nenhuma contempla a contenção dos rejeitos. A noção de rejeito, é considerada como resíduo sólido, quando não tem mais destinações mercantis. Portanto, o rejeito é considerado um resultado inevitável, ou seja, não desejável, das atividades humanas, por não ser possível seu reaproveitamento com a tecnologia dada. Isso ocorre “[...] por serem resultado de fenômenos lineares, os rejeitos não retornam à constituição física existente antes de iniciado o processo produtivo” devido as leis termodinâmicas, em especial, a entropia (TOLEDO, RIBEIRO, THOMÉ, 2019, p. 22).

Toledo, et al. (2019) percebem que nos anos 80 era comum o comércio internacional de rejeitos e o objetivo era dar um destino aos rejeitos indesejáveis de uns locais, para enviar a outros, com uma compensação financeira. O comércio global dessa época consistia em uma estratégia que visava transformar algumas das regiões do planeta em grandes lixeiras de rejeito, visivelmente uma solução neocolonial.

Formas, instrumentos, métodos, técnicas e procedimentos relacionados às barragens de rejeito

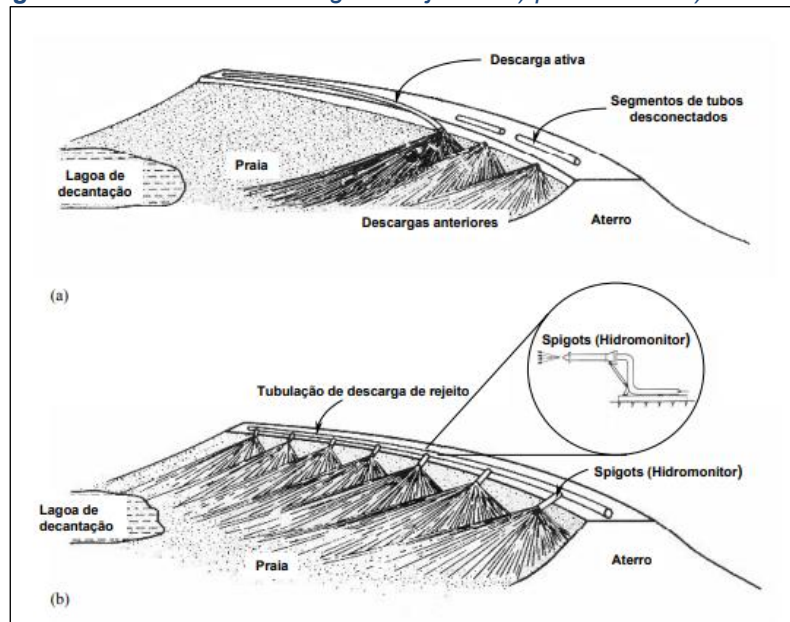
Existem três principais formas para disposição dos rejeitos, sendo: subaquática, subterrânea e a céu aberto. A primeira forma (subaquática) não é muito utilizada, pois apresenta grandes impactos ambientais, tornando-se um método descontinuado. O método subterrâneo tem sua disposição dado por câmaras que surgem conforme a expansão da extração mineral ocorre, essa expansão corresponde ao processo pelo qual, os minérios são bombeados em sua grande maioria, preenchendo com isso, as suas câmaras. Por fim, a que apresenta maior relevância para o presente trabalho, consiste nas realizadas a céu aberto, elas podem ser as pilhas controladas ou as estruturas localizadas em bacias ou em vales para contenção dos rejeitos (LOZANO, 2006).



RELISE

As barragens de mineração e disposição de rejeitos a céu aberto têm como forma de preenchimento do seu interior (praia/reservatório) o lançamento em forma de ponto único ou em linha (Figura 2), que utiliza hidrociclones ou canhões (*spigots*). Com esses dispositivos é possível realizar a separação do rejeito de forma granulométrica com a mesma densidade. Os hidrociclones utilizam a força centrífuga que separa as partículas mais grossas (*underflow*) das mais finas (*overflow*). As partículas mais finas representam a parte sólida da lama lançadas no reservatório da barragem. Por outro lado, as partículas mais grossas que são mais granulares, apresentam melhores características para seu lançamento próximo à crista do barramento que podem posteriormente ser utilizados como material de construção e alteamento (ALBUQUERQUE FILHO, 2004, p. 18).

Figura 2 - Método de descarga de rejeitos: a) ponto único b) em linha.



Fonte: Ribeiro (2000, p. 28).

Ao entrar nos tipos de barragens e seus métodos de construção, se deve distinguir as três principais técnicas utilizadas a céu aberto, sendo: o método a montante; o método a jusante; e o método linha de centro. Albuquerque Filho



RELISE

(2004, p. 17) destacou que a grande vantagem nos métodos de construção de barragens de rejeito se dá pela questão da amortização dos custos, pois “[...] com a otimização dos métodos construtivos em virtude da experiência anterior e utilização dos próprios resíduos contidos como material de construção”. Todavia, não se pode esquecer que considerando alguns estudos no mundo, há diversas recomendações para que esses projetos adotem algumas providências para aumentar a segurança das estruturas que utilizam o rejeito como material construtivo de seu maciço.

Em vista disso, percebemos que o primeiro tipo de barramento a ser analisado, é a construção pelo método a montante (Figura 3), por ser a mais antiga, simples, econômica e perigosa, entre os três métodos acima mencionados. O método a montante configura as barragens que romperam nos últimos anos, assim, sabemos que de forma tardia, esse procedimento apresenta uma lei que impede o seu uso para novas construções e para desativação e descomissionamento das que ainda estão em operação no estado de Minas Gerais, conforme a lei estadual 23.291/2019.

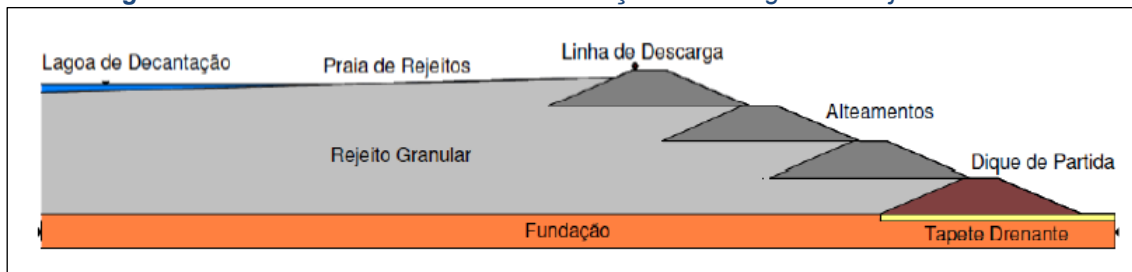
Araújo (2006) apresenta que a etapa inicial desse tipo de estrutura se inicia com a construção de um dique de partida que normalmente é realizado com material argiloso ou enrocamento compacto. Realizada essa etapa, o rejeito é lançado por canhões em direção à linha de simetria do dique, formando por sua vez uma praia para os rejeitos. Esse procedimento desencadeia, ou então, tornará a fundação e eventualmente, caso seja alteada a barragem, a utilização desse material. Araújo, ainda destacou que apesar da sua ampla utilização pelas mineradoras, esse método apresenta um baixo controle construtivo, o que o torna tão arriscado. O que agrava essa questão é que os alteamentos são realizados com materiais não consolidados em que pela saturação, apresentam baixa resistência a cisalhamento, o que pode gerar liquefação dinâmica e estática.



RELISE

Lozano (2006) adiciona que após a construção dos diques da bacia, os alteamentos ocorrem por necessidades operacionais da mina em que o dique inicial é sempre maior que os diques posteriores. Por fim, devemos acrescentar que esse método, para Duarte (2008, p. 9) tem “[...] uma dificuldade na implantação de um sistema interno de drenagem eficiente para controlar o nível da água dentro da barragem, constituindo um problema adicional com reflexos na estabilidade da estrutura”.

Figura 3 - O método a montante de construção de barragens de rejeito mineral.



Fonte: Albuquerque Filho (2004, p. 21).

Já o método a jusante (Figura 4), consiste no deslocamento dos alteamentos para jusante à barragem. É construído um dique impermeável com drenagem interna composta por filtro e tapete drenante. O talude interno da barragem, também é impermeabilizado durante o processo de alteamento. Ressaltamos ainda que as impermeabilizações do método a montante não são obrigatórias, sobretudo, para o caso de rejeitos possuírem alto grau de permeabilidade. Nesse método, os rejeitos são ciclizados e lançados no talude a jusante no alteamento, pelo qual somente são utilizados, os rejeitos grossos (LOZANO, 2006).

Duarte (2008, p. 9) ressalta que as vantagens desse método consistem “[...] no controle do lançamento e da compactação, de acordo com técnicas convencionais de construção”. Ressaltamos que nenhuma parte da barragem é construída sobre rejeitos previamente depositados pelos quais, os sistemas de drenagem podem ser instalados durante todo o processo, e que permite “[...] o

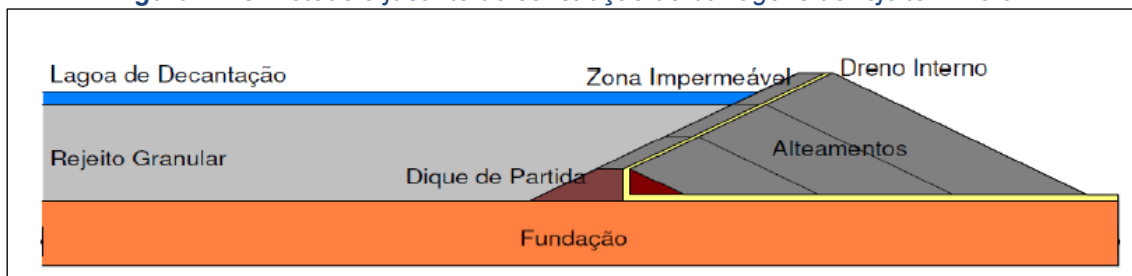


RELISE

controle da linha de saturação na estrutura da barragem e aumentando sua estabilidade” (DUARTE, 2008, p. 9).

Para Araújo (2006), o método a jusante necessita de maiores volumes de material de construção, o que torna o custo elevado comparado com o método a montante. Nesse sentido, continua, a área ocupada por esse método é muito maior, devido à necessidade de alteamento durante o progresso operacional. Por fim, Machado (2007, p. 64) acredita que esse método “[...] é mais eficiente para o controle das superfícies freáticas e inicia-se com um dique de partida em solo compacto”.

Figura 4 - O método a jusante de construção de barragens de rejeito mineral.



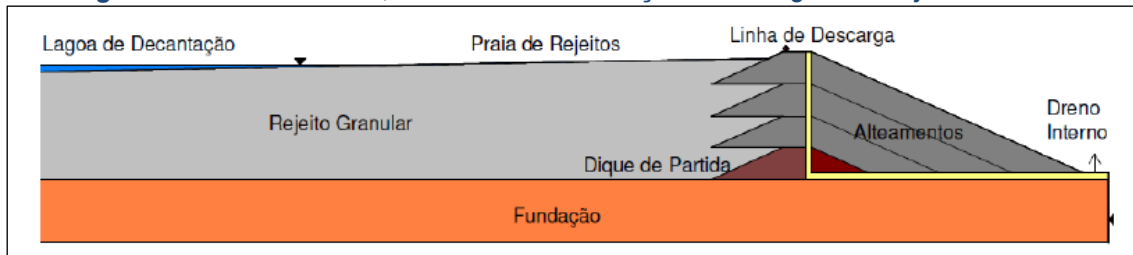
Fonte: Albuquerque Filho (2004, p. 23).

Machado (2007, p. 65) considera que o método linha de centro (Figura 5) apresenta uma solução intermediária e por isso, apresenta uma solução que se adéqua tanto ao método a jusante quanto ao a montante, “[...] embora seu comportamento estrutural se aproxime do método jusante”. Desse modo, a barragem tem início por um dique de partida pelos quais os alteamentos ocorrem com o eixo da barragem inalterado. Destacou que durante todo esse processo é possível utilizar-se de zonas de drenagens internas como ocorre com o método a jusante. Para Albuquerque Filho (2004, p. 25), esse método apresenta maior facilidade construtiva e exige volumes relativamente menores de material dentro do processo de construção.



RELISE

Figura 5 - Linha de centro, o método de construção de barragens de rejeito mineral.



Fonte: Albuquerque Filho (2004, p. 24).

Devemos ter em mente que a escolha entre um método ou outro depende da natureza do processo da mineração, condições geológicas e topográficas da região, além das questões relacionadas com as propriedades mecânicas dos materiais, bem como o impacto ambiental considerado dos rejeitos que serão armazenados na barragem (DUARTE, 2008).

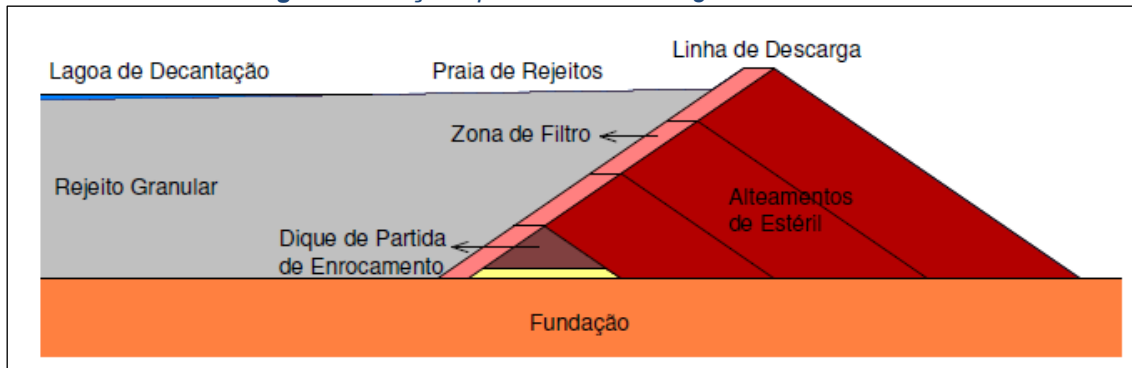
Soares (2010) ainda acrescenta que devemos considerar algumas variáveis, como: topografia, geologia, tipos e propriedades do subsolo, granulométrica e concentração de rejeitos, velocidade de deposição, capacidade de armazenamento, alteamentos necessários, equipamentos de terraplanagem, capacidade de compactação e por fim, as equipes de controle.

Albuquerque Filho (2004) complementa que dentro do método de construção da barragem podemos escolher entre as barragens convencionais de estéril ou de material de empréstimo. Com relação a uma barragem construída com estéril, Albuquerque Filho (2004, p. 25) demonstra que “[...] o próprio rejeito granular é utilizado como material construtivo, as barragens de contenção também podem ser executadas de forma convencional com a utilização de estéreis, enrocamento ou materiais provenientes da área de empréstimo” (Figura, 6).



RELISE

Figura 6 - Seção típica de uma barragem com estéril.

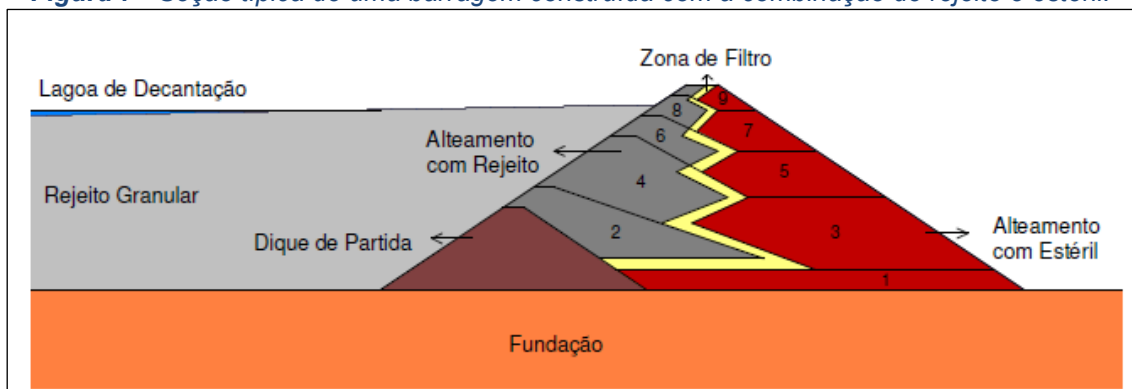


Fonte: Albuquerque Filho (2004, p. 25).

Para Albuquerque Filho (2004, p. 25), devido ao rigor das exigências legais e ambientais ocorridos nas últimas décadas com relação ao controle de rejeitos, visando principalmente a segurança dessas estruturas, implica na “[...] adoção de projetos e procedimentos executivos similares àqueles desenvolvidos para estruturas de reservação de água”.

Desse modo, para essas estruturas é utilizada uma combinação de estéril com rejeito nas etapas de alteamento, o que desencadeia na apresentação de uma zona de filtro, na qual “[...] numeração das faixas presentes na figura indica a sequência construtiva utilizada para execução desta barragem de rejeito”, que pode ser visualizada na Figura 7 (ALBUQUERQUE FILHO, 2004, p. 25).

Figura 7 - Seção típica de uma barragem construída com a combinação de rejeito e estéril.



Fonte: Albuquerque Filho (2004, p. 26).



RELISE

Notamos que uma questão fundamental para se garantir a segurança da barragem está no sistema de drenagem. Para Cardozo, Pimenta e Zingano (2016, p. 81), os maiores responsáveis para “[...] prevenir excessos de poro de pressão ao fluxo de água da barragem” são os drenos. Essas forças de poro de pressão, são favoráveis ao movimento pelo qual, no caso de ineficiência do sistema de drenos, pode ocorrer o fenômeno conhecido como *piping*, que nada mais é que a erosão interna da estrutura. Portanto, o sistema de drenagem é fundamental para todos os métodos, pois, sabemos que cada um tem vantagens e desvantagens, vejamos elas resumidas na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo comparativo dos principais métodos construtivos de barragens de rejeito.

	Montante	Jusante	Linha de centro
Tipo de rejeito	Baixa densidade para que ocorra segregação	Qualquer tipo	Areias de lamas de baixa plasticidade
Descarga de rejeitos	Periférica	Independente	Periférica
Armazenamento de água	Não recomendável para grandes volumes	Bom	Aceitável
Resistência a abalos sísmicos	Baixa	Boa	Aceitável
Alteamentos	Ideal menos 10 m/ano	Nenhuma restrição	Pouca restrição
Vantagens	Menor custo, utilizado onde há restrição de área	Maior segurança	Flexibilidade construtiva
Desvantagens	Baixa segurança suscetibilidade a liquefação e <i>piping</i>	Grande quantidade de material requerido proteção do talude a jusante apenas na configuração final	Necessidade de eficiente sistema de drenagem

Fonte: Adaptado de Cardozo; Pimenta e Zingano (2016, p. 82).

O rompimento de barragens e suas principais causas

Após compreender os principais métodos de construção de barragens e suas vantagens e desvantagens, torna-se necessário avaliar as principais causas de rompimento de barragem, o evento que pretendemos analisar. O rompimento de barragens, não é novidade na história da humanidade, sendo que existem diversas reincidências. Para Mota (2017, p. 22), existem dois fatores



RELISE

principais ao longo da história do evento. O primeiro se refere a fenômenos naturais que podem abalar as estruturas. A segunda se dá pelo mau planejamento da estrutura com falhas dentro de todo o ciclo de vida do projeto e também, após o seu término.

Para Luino e De Graff (2012) o rompimento de Stava, na Itália - que têm atividades de mineração, pelo menos desde 1528 – transforma-se em um marco, pois esse crime corporativo, assim como os outros, poderiam ter sido evitados com uma regulamentação mais sólida e eficaz. Em seu estudo, Luino e De Graff apresentam cinco razões que demonstram os motivos dos porquês as barragens de rejeitos são mais suscetíveis ao rompimento em relação às barragens convencionais. Apresentam que as causas mais comuns são processos conhecidos como liquefação e filtração que ocorrem devido um amplo estado de maturação, o qual demora a consolidar após a sedimentação. Basicamente, dado ao alto custo para manutenção das barragens, percebemos que o processo de sedimentação do material, a ampliação de quantidade represada, uma legislação branda e a ausência de protocolos a fim do monitoramento contínuo durante o ciclo de vida do projeto e após o fechamento da mina, são os fatores responsáveis pelos rompimentos. “O termo ‘mina’ inclui todas as instalações necessárias à produção de substâncias minerais, em particular as escavações, locais de disposição de estéréis e rejeitos, área de estocagem de minério, insumos e produtos, usinas de beneficiamento, instalações de apoio” (SÁNCHEZ, 2001, p. 49).

Pela extensão das obras, as barragens de rejeitos, as falhas nos últimos anos trazem grandes impactos como perda de vida humana e animal, dos ecossistemas, das propriedades, dos rios e lagos, entre diversos outros recursos bióticos e abióticos que são afetados quanto ao evento do rompimento. Desse modo, essas falhas podem ser consideradas catástrofes, acidentes, tragédias ou



RELISE

crimes, visto que optamos para o trabalho a última terminologia que será detalhada ao longo da pesquisa.

Mota (2017, p. 24) aponta a importância do desenvolvimento do conhecimento da mecânica dos solos e recursos hídricos oferecendo aos engenheiros, ferramentas importantes para “[...] quantificar as magnitudes desses danos e a prevê-los e eliminá-los desde a fase do projeto”. O autor destaca que as falhas das barragens são referentes às forças internas e externas com diversas razões para um eventual fracasso da estrutura, como: infiltração, erosão interna, galgamento, liquefação, entre outros. Santos, França e Almeida (2007) descrevem o tipo de barragem e sua relação com os seus rompimentos mais frequentes (Tabela 3).

Tabela 3 - Causas de ruptura em barragens.

TIPO DE BARRAGEM	FORMA DE RUPTURA
Aterro	Galgamento Erosão interna Escorregamento de fundação Ação de ondas da albufera Erosão da fundação jusante da barragem
Concreto gravidade	Deterioração dos materiais Falha da fundação da barragem Falta de estabilidade do corpo da barragem Erosão da fundação a jusante da barragem Atos de guerra
Concreto em arco	Falha dos encontros laterais do vale de fundação Saturação das fundações rochosas Carga excessiva resultante de um excessivo enchimento da albufera Deslizamento do corpo da barragem Erosão da fundação a jusante da barragem

Fonte: Adaptado de Santos, França e Almeida, (2007, p. 24-25)

Serão apresentadas, de forma bastante resumida e simplificada, com base no levantamento de Mota (2017) as principais causas de rompimento em barragens (Tabela 4). A erosão interna (*piping*) é uma das maiores causas de rompimentos de barragens antigas e pequenas, ocorrendo quando a água se infiltra na fundação ou solo compactado, criando um canal no interior da barragem. O galgamento também apresenta muitos casos no mundo e é



RELISE

geralmente oriundo do momento em que o nível da água do reservatório se eleva acima da crista da barragem, algo que geralmente ocorre devido a chuvas intensas, gerando um arraste de materiais que pode sobrecarregar a barragem. Já o deslizamento ocasiona quando determinadas áreas da barragem são deslocadas a jusante, que pode deslizar tanto na fundação como na barragem, dado desequilíbrio de forças. Por fim, Mota (2017) reforça que o processo de derrubamento é gerado em barragens de concreto que são causados por desequilíbrios na estrutura.

Tabela 4 - Relação entre tipos de barragens e suas formas de ruptura

		Tipo de barragem				
		Terra	Concreto	Arco	Arco com contrafortes	Múltiplos Arcos
Formas de ruptura	Piping	x	x	x	x	x
	Galgamento	x	x	x	x	x
	Deslizamento	x	x			
	Derrubamento		x	x	x	x

Fonte: Adaptado de Mota (2017, p. 32)

Robertson (2011) apresenta informações interessantes com relação à evolução histórica da produção mineral e a altura das barragens de rejeito, conforme a Tabela 5. Podemos observar que conforme a escala produtiva aumenta, as barragens são reconfiguradas para comportar a demanda de rejeitos dos processos minerais. As estratégias que empresas de mineração estão adotando são baseadas na expansão da capacidade de carga por meio do aumento na altura das barragens. Barragens com 120 metros, 240 metros, com previsão de até 400 metros é algo surreal, não deveriam ter seus projetos aprovados, pois a extração mineral não se tornou mais eficaz, respeitando uma escala sustentável. O que percebemos são processos operacionais com alto desperdício de natureza, necessitando de armazenamento de sua ineficácia. O Estado simplesmente não poderia aceitar projetos dessas proporções, pois os



RELISE

riscos, por melhor que seja a técnica, não compensam para a sociedade. Pode até compensar para a firma, mas de fato, precisam ser coibidos para que possam pensar em novas técnicas mais eficientes, gerando menos resíduos, mitigando os efeitos colaterais latentes.

Tabela 5 - Crescimento da atividade mineral X altura das barragens de rejeito.

Evolução da produção mundial	Evolução da altura das barragens
1930 - 100 Toneladas/dia	1900 - Altura máxima das barragens - 30 metros
1960 - 1.000 Toneladas/dia	1930 - Altura máxima das barragens - 60 metros
1990 - 10.000 Toneladas/dia	1960 - Altura máxima das barragens - 120 metros
2000 - 100.000 Toneladas/dia	2000 - Altura máxima das barragens - 240 metros
Atual - 670.000 toneladas/dia	Atual - barragem de 340 metros em construção
2030 - 1.000.000 Toneladas/dia (previsão)	Em fase de projeto, há uma barragem com altura prevista de 400 metros

Fonte: Adaptado de Robertson (2011).

De acordo com a tabela acima, fica evidente como a mineração vem evoluindo no mundo e tornando-se cada vez mais acelerada, principalmente, como produção e escala, que como consequência, tornam-se necessárias barragens com porte cada vez maiores. Esses projetos estão transformando a sociedade, acrescentando riscos e vulnerabilidades cada vez mais difíceis de mensuração. Um lema do mercado financeiro considera que *quanto maior o risco, maior o retorno* e aparentemente, o setor mineral está jogando com relação aos riscos, para que se tenha, em grande escala, retorno a curto prazo.

Desse modo, a sociedade e o ambiente natural são os que arcam com os passivos não contabilizados, pois no caso de rompimento dessas barragens, por mais que recaiam alguns ônus às empresas, quem realmente paga a conta, é a população. Além disso, se o rompimento for durante o período de vida da empresa, o Estado consegue por intermédio de seus mecanismos cobrar a responsabilidade das empresas, mas e se as empresas não mais existirem? O que acontece quando nada acontece?

Após o crime corporativo da Samarco S.A., ocorrido em Bento Rodrigues, subdistrito de Mariana/MG, muitos acreditavam que as mineradoras



RELISE

responsáveis iriam solucionar os problemas. Entretanto, percebemos que mesmo após toda a destruição as mineradoras optaram por utilizar material de segunda linha em seus projetos, o que reforça os argumentos de crime corporativo e até desdém para com a sociedade. Em matéria do dia 21 de agosto de 2019, o jornal Estado de Minas apresentou uma matéria denunciando as mineradoras por estarem utilizando materiais de baixa qualidade na construção de diques. O objetivo por óbvio era centrado em baratear os custos, mas já no início do projeto apresentavam falhas, que comprometem a recuperação ambiental (ESTADO DE MINAS, 2019).

Devemos compreender que hoje essas empresas ainda estão atuando com suas ações cotadas em bolsas de valores (mercado financeiro), mas e se no futuro o capital for pulverizado? Se houver fusões ou aquisições com outras empresas, mudando o capital social? Ou se simplesmente as empresas falirem com o tempo, mas deixando rugosidades espaciais, como as barragens de rejeito, quem arcará com os prejuízos? Responder essas questões oferecerá indicadores do movimento que a ação humana está realizando, apoiados pelos ordenamentos técnicos, da forma jurídica e do simbólico.

CONCLUSÃO

As barragens são construções em que as técnicas vêm evoluindo junto com a própria história humana. Com objetivo de criar obstáculos artificiais para reter água, ou outros componentes, as barragens da era moderna estão cada vez maiores, com uma gigantesca capacidade de carga. Por óbvio, no momento que essas estruturas se rompem, por melhor que possa ser a engenharia, cria um efeito de destruição inaceitável para uma sociedade civilizada. Os riscos não valem a pena, pois existe um limite, uma capacidade de suporte, algo que represente uma escala produtiva de forma sustentável. Desconsiderar os efeitos do rompimento das barragens, calcado em métricas simplesmente monetárias,



RELISE

por uma ótica de crescimento econômico a todo custo, constitui-se um erro crasso. Não adianta apenas valorar os serviços e funções ecossistêmicas, calcular os passivos ambientais, pois, desconsiderar os passivos do sofrimento social torna a operação irracional.

Com o foco nas barragens de rejeito (infraestrutura), percebemos que um bem público (minério), sendo explorado por um monopólio (empresa), mediante concessões (Estado), quando rompidas afetam populações inteiras (sociedade) e o ambiente natural (ecossistemas), em outras palavras, todos os elementos espaciais. O rompimento de uma barragem apresenta uma contradição ao modelo econômico convencional, pois os ganhos marginais das empresas são alcançados pelos custos sociais e ambientais das comunidades e populações. Por mais que a barragem esteja segura, ao pensar na lei da entropia, tende a se desmanchar no ar, logo, não há barragens realmente seguras, por representar uma segurança temporal.

Houve avanços no gerenciamento de riscos considerando as atualizações dos critérios de projetos de barragens de acordo com a política nacional PNSB – Lei 12.332/2010 e suas atualizações como a portaria nº 70.389/2017 e a criação do Sistema Integrado de Gestão de Segurança em Barragens de Mineração (SIGBM). Todavia, não consideram as relações entre gerações, tão pouco, não contempla diversos pontos importantes que apresentamos ao longo da pesquisa.

Todavia, ao se pensar na relação entre o Estado e as empresas observamos diversos casos de abusos entre as mineradoras e os demais elementos espaciais. Os rompimentos oriundos de suas barragens e a forma de lidar com os casos são em alguns momentos, estratégias para corroer o espírito humano. Até o momento tudo que decorreu das barragens rompidas não se teve tratativa adequada. Por exemplo, no caso da Samarco S.A. (2015), criaram uma fundação que resguarda a imagem da empresa, enquanto está se queima



RELISE

perante a sociedade, demonstrando uma ação deliberada para se evitar a depreciação das empresas (risco de *compliance*). Quando se olha a evolução do valor de mercado de uma das suas acionistas majoritárias, a Vale S/A, reforça a tese de que o crime compensa. As multas não são sequer pagas e os processos de indenização são protelados na justiça, que atendem sobremaneira aos interesses das firmas. Devemos lembrar, hoje, é mais fácil o acesso à justiça inglesa, do que à brasileira, sobretudo, ao se pensar nos atingidos por barragens, como é o caso da Samarco S.A. e seu crime corporativo.

Portanto, compreender a evolução histórica e o histórico das barragens de rejeito, suas formas, instrumentos, métodos e procedimentos são pontos centrais para se chegar a essas reflexões. Com o aumento da escala produtiva os riscos se ampliaram, e as barragens são cada vez mais robustas, sendo que, se houver falhas tecnológicas ou humanas, os custos sociais e ambientais são inestimáveis. As barragens são rugosidades espaciais, elas irão se perpetuar nas paisagens, caso não houver tratamento adequado, logo, é muito importante entender as principais causas de rompimento, buscando medidas mitigadoras.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e pelo Núcleo de Estudos em Sustentabilidade e Gestão Ambiental (NESGA/UNIFESSPA).

REFERÊNCIAS

Albuquerque Filho, L. H. (2004). **Avaliação do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais.



RELISE

Araújo, C. B. de. (2006). **Contribuição ao Estudo do Comportamento de Barragens de Rejeito de Mineração de Ferro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.

Azam, S.; Li, Q. (2010). Tailings dam failures: A review of the last one hundred years. **Geotechnical News**, 28(4), p. 50-54.

Bueno, J. G. R.; Delpupo, M. V. (2017). Responsabilidade civil pelo dano decorrente do rompimento de barragem. **Revista Quaestio Juris**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 2135-2168, 2017.

Cardozo, F.A.C.; Pimenta, M. M.; Zingano, A.C. (2016). Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração: uma revisão. **Revista Holos**, ano 32, vol. 08, pág.: 77-85; 2016.

Chammas, R. **Barragens de Contenção de Rejeitos**. (1989) Curso de Especialização em Engenharia de Barragens (CEEb), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto.

Duarte, A. P. (2008). **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

ECO, Umberto. **Como se faz uma tese**. São Paulo, Perspectivas, 2008.

ESTADO DE MINAS. **Rompimento de dique construído com material de segunda ameaça a recuperação ambiental no Rio Doce**. (2019). Disponível em:

https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/07/21/interna_gerais,1071226/rompimento-de-dique-construido-com-material-de-segunda-ameaca-recupera.shtml?utm_source=onesignal&utm_medium=push&fbclid=IwAR3SWyZCTk2L67y7Riub62T7c4qrAtgNQAm2kmGgc61IzTpcuAtDi92QrRI. Acesso: 23 de ago. 2019.

FLICK, Uwe. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.



RELISE

Lozano, F. A. E. (2006). **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica), Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, USP, São Paulo.

Luino, F.; De Graff, J. V. (2012). The Stava mudflow of 19 July 1985 (Northern Italy): a disaster that effective regulation might have prevented. **Natural hazard and earth system sciences**, vol. 12, p. 1029-1044.

Machado, P. A. L. (2013). **Direito Ambiental Brasileiro**. 12º Ed. São Paulo: Malheiros Editores.

Machado, W. G. de F. (2007). **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas, São Paulo.

Mota, K. R. R. (2017). **Rompimento hipotético e delimitação da área inundada da barragem Salto Moraes em Ituiutaba/MG**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Minas Gerais.

Oliveira, J. B. V. R de. (2010). **Manual de operação de barragens de contenção de rejeitos como requisito essencial ao gerenciamento dos rejeitos e à segurança de barragens**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas, Minas Gerais.

Ribeiro, L. F. M. (2000). **Simulação física do processo de formação dos aterros hidráulicos aplicados a barragens de rejeitos**. Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília.

Robertson, A. C. (2011). Solutions Beyond Incremental Changes. In: **Tailings and Mine Waste**, Vancouver, BC, 2011.

Sánchez, L. E. (2001). **Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais**. Edusp/Fapesp, São Paulo.

Sánchez, L.E., et al. (2018). **Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão**. O caminho para uma mitigação sustentável e resiliente. Relatório Temático no 1 do Painel do Rio Doce. Gland, Suíça: UICN.



RELISE

174

Santos, J. B. dos.; França, M. J.; Almeida, A. B de. (2007). Risco associado à ruptura por galgamento de barragens de aterro. **Ingenieria del Agua**, Córdoba, v. 14, n. 4, p. 260-278.

Silva, A. M. (2017). **Sociedade de risco e as barragens de rejeitos**. Rio de Janeiro: Lumen Juris.

Silva, L. C. do N. (2018). **Barragens de rejeito da mineração**: análise do sistema de gestão do Estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro: Lumen Juris.

Soares, L. (2010) Barragem de rejeito. In: Luz, A. B. da.; Sampaio, J. A.; França, S. C. A. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 831-896.

Toledo, A. de P.; Ribeiro, J. C. J.; Thomé, R. (2016). **Acidentes com barragens de rejeitos da mineração e o princípio da prevenção**. Rio de Janeiro: Lumen Juris.