

O Rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais, Brasil: a Incubação de um Acidente Organizacional

rpso.pt/rompimento-da-barragem-fundao-mariana-minas-gerais-brasil-incubacao-um-acidente-organizacional/

May 1, 2018

THE BREAKDOWN OF FUNDÃO DAM IN MARIANA, MINAS GERAIS, BRAZIL: THE INCUBATION OF AN ORGANIZATIONAL ACCIDENT

TIPO DE ARTIGO: Pesquisa Documental

AUTORES: Faria M(1), Botelho M(2).

RESUMO

Introdução

A produção mineral gera um volume significativo de detritos. Estes são acumulados em barragens de grandes volumes que estão sujeitas a rompimentos de forma a provocar consequências ambientais e perdas de vidas das populações nas proximidades e dos trabalhadores envolvidos. Este artigo descreve o caso de rompimento de barragem de resíduos de minério de ferro, localizada no município de Mariana no Estado de Minas Gerais, Brasil.

Objetivos

Este artigo pretende descrever os eventos que resultaram no rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão em Mariana, no Estado de Minas Gerais, Brasil e apresentar os limites das ações tomadas para corrigir as falhas verificadas ao longo da operação da barragem.

Metodologia

Utilizou-se a análise documental e os dados do "Relatório de Análise de Acidente – Rompimento da Barragem de Rejeitos Fundão, em Mariana, MG", elaborado pela equipa de Auditores-Fiscais do Trabalho, do Ministério do Trabalho do Brasil, da qual fizeram parte os autores. Realizou-se ainda uma pesquisa documental e bibliográfica sobre teorias de fatores organizacionais dos acidentes.

Resultados

O estudo mostrou os eventos que ocorreram desde a implantação da Barragem de Fundão e que implicaram uma progressiva deterioração da capacidade de suporte do volume armazenado. Também aponta as falhas da empresa na correção das fragilidades que foram verificadas ao longo da sua história e que culminaram com o seu rompimento. Este ocasionou uma catástrofe ambiental sem precedentes na história da mineração brasileira e a morte de moradores locais e de trabalhadores que estavam na área da barragem.

Discussão

Acidentes ampliados como este não possuem uma causa única, mas resultam de uma combinação de fatores acumulados ao longo do tempo, cuja origem pode ser explicada por decisões técnico-organizacionais ou mesmo políticas da empresa tomadas ao longo da história. No caso estudado, decisões gerenciais foram tomadas em relação à operação e à manutenção do sistema de disposição de detritos para corrigir as falhas detectadas, mas estas não se mostraram suficientes para impedir o rompimento.

Conclusão

Esse acidente de trabalho ampliado e sua consequente catástrofe ambiental revelam falhas nos processos de gestão da empresa, licenciamento, fiscalização, monitorização e do sistema de emergência, que foram incapazes de garantir a segurança da barragem, da própria empresa e das populações afetadas, o que nos permite concluir pela insustentabilidade da gestão ocupacional e ambiental adotadas.

Palavras-chave: acidente de trabalho; rompimento de barragem; gestão da segurança do trabalho; prevenção.

ABSTRACT

Introduction

Mineral production generates a significant volume of tailings resulting from mining and processing. Such tailings are accumulated in dams of large volumes that are subject to rupture that can cause environmental consequences and loss of lives of the nearby populations and the workers involved. This article describes the case of iron ore waste dam break, located in Mariana, State of Minas Gerais, Brazil.

Objectives

This article aims to describe the events that resulted in the dam beak of Fundão Tailings Dam in Mariana, State of Minas Gerais, Brazil, and to present the limits of the actions taken to correct the failures observed during the operation of the dam.

Methodology

Documentary analysis and the data of the “Report of Accident Analysis – Breaking of the Fundão Tailings Dam, in Mariana, MG”, prepared by a team of Labor Inspectors, of the Ministry of Labor of Brazil, of which take part the authors. Documentary and bibliographical research on theories of organizational factors of accidents was also carried out.

Results

The study showed the events that have occurred since the implementation of the Dam and that have led to a progressive deterioration in the capacity of support of the stored volume. Also pointed to the company's failures to correct the fragilities that have been verified throughout its history and which culminated in the dam break. This caused an unprecedented environmental catastrophe in the history of Brazilian mining and the deaths of residents and workers who were in the area.

Discussion

Increased accidents like this do not have a single cause, but result from a combination of factors accumulated over time, whose origin can be explained by technical-organizational decisions or even company policies taken throughout history. In this case, management decisions were made regarding the operation and maintenance of the tailings disposal system to correct the detected failures, but these were not sufficient to prevent the dam break.

Conclusion

This increased work-related accident and its consequent environmental catastrophe reveal failures in the company's management, licensing, monitoring, monitoring and emergency system processes, which were unable to guarantee the dam's safety, the company itself and the affected populations. This allows us to conclude on the unsustainability of the occupational and environmental management adopted.

Keywords: work accident; dam break; management of work safety; prevention.

INTRODUÇÃO

As atividades de produção mineral geram um volume significativo de detritos decorrentes dos processos de lavra e beneficiamento. A procura mundial crescente por bens minerais, aliada ao desenvolvimento econômico e tecnológico, condiciona, de forma sustentável e economicamente viável, o aproveitamento de minérios de baixo teor ou mesmo aqueles de difícil beneficiamento. Ela conduz a um aumento expressivo na quantidade de detritos produzidos e das estruturas armazenadoras¹.

Barragem é qualquer estrutura que forme uma parede de contenção de detritos, resíduos ou reservatório de água. Segundo Soares¹, além de economicamente atraente, o modo de construção da barragem por alteamentos sucessivos possibilita grande flexibilidade construtiva, em função da variação de volumes de detritos a serem armazenados, ditada, por vezes, pelas flutuações de mercado. Para o autor, outro aspecto significativo é a existência de materiais de construção na própria mina, podendo ser utilizados, além dos detritos resultantes do beneficiamento do minério, materiais estéreis ou sem valor econômico. As barragens de contenção de detritos construídas por alteamentos sucessivos compreendem a execução inicial de uma barragem piloto, constituída por um dique de pequena altura de terra compactada denominado dique inicial ou de partida. Os alteamentos subsequentes acompanham o nível de rejeitos depositados no reservatório, até mesmo com uma borda livre que possibilita o armazenamento de água para reaproveitamento no processo de beneficiamento, além de minimizar os efeitos de inundações. Podem ser destacados três métodos mais comuns: de montante, de jusante e de linha de centro. Estas denominações resultam do deslocamento que o eixo da barragem desenvolve durante seu alteamento. Soares¹ destaca que, embora economicamente interessante, os alteamentos exigem uma perfeita integração das equipas da mineração e de projeto durante todas as etapas da obra, de modo que a altura de uma barragem é determinada pela diferença da elevação de sua crista até o ponto mais baixo da sua fundação.

Método de alteamento a montante

Neste tipo de alteamento a linha central da crista da barragem é deslocada em direção ao reservatório a partir de uma barragem inicial, chamada dique de partida. Uma vez construído o dique de partida os detritos são depositados a montante da crista sobre os rejeitos dispostos anteriormente formando novos diques na sequência. Durante este processo é formada uma “praia” de detritos já sedimentados, que servirá de base para construção do próximo alteamento. O dique subsequente será construído sobre o topo do dique anterior na praia, conforme visualizado na Figura 1. Por isso diz-se que a construção de uma barragem de alteamento a montante é permanente. O método de alteamento a montante foi o método utilizado na construção da Barragem de Fundão.

Durante o lançamento dos detritos, ocorre segregação granulométrica, ficando a fração mais grossa depositada próxima ao maciço, a chamada “praia”. Para que o material lançado sirva de base para um novo alteamento, exige-se que os detritos contenham de 40 a 60% de areia e baixa densidade de polpa, para favorecer a segregação granulométrica. As frações mais finas (lamas) fluem em direção ao lago de decantação ou são lançadas no mesmo.

A construção dos alteamentos deve observar, entre outros fatores, a sedimentação, para redução dos riscos de acidentes. Entretanto, o aumento da produção de minério e conseqüentemente maior geração de detritos levam à necessidade de construção de novos alteamentos, realizados muitas vezes sem a observância da sedimentação necessária para tal. Caso não ocorra a sedimentação adequada, poderão surgir problemas de subpressão no reservatório, causadas pela variação da percolação de água ali armazenada. O excesso de subpressão afetará a fundação da barragem, podendo ocasionar alterações nas condições geológico-geotécnicas consideradas para o projeto².

De acordo com Castro², o método de alteamento a montante é o mais vulnerável à ocorrência de acidentes devido às forças da percolação da água, com maior susceptibilidade à instalação de processos erosivos internos de *piping* e liquefação, os maiores responsáveis por acidentes já registrados. Contudo, este método de alteamento, o mais utilizado pelas mineradoras no Estado de Minas Gerais e é o mais econômico, uma vez que a construção da barragem é realizada por etapas (alteamentos sucessivos).

Entre as vantagens deste método Soares¹ cita menor custo de construção, maior velocidade de alteamento, menores volumes na etapa de alteamento e pouco uso de equipamentos de terraplenagem. Por outro lado, apresenta as seguintes desvantagens:

- (i) menor coeficiente de segurança, em função da linha freática, em geral, situada muito próxima ao talude de jusante;
- (ii) a superfície crítica de ruptura passa pelos rejeitos sedimentados, porém não devidamente compactados;
- (iii) há possibilidade de ocorrer “piping” (entubamento), resultando no surgimento de água na superfície do talude de jusante, principalmente quando ocorre concentração de fluxo entre dois diques compactados;
- (iv) há risco de ruptura provocado pela liquefação da massa de rejeitos, por efeito de sismos naturais ou induzidos e vibrações causadas por explosões ou movimentação de equipamentos.

Por seu turno, Galvão Sobrinho³ relata que em áreas que ocorram vibrações, sejam de origem tectônica (sismos naturais), ou provocadas por desmonte com explosivo na mina ou por passagem de veículos (sismos induzidos), recomenda-se que o alteamento a montante seja descartado.

O rompimento de barragens de detritos não é uma situação peculiar do Brasil, tendo ocorrido em diversos países ao longo da história de mineração. Em Minas Gerais, nos últimos trinta anos, ocorreram diversos rompimentos de barragens de rejeitos de minério com várias vítimas e com impactos ambientais de dimensões variáveis conforme se poderá consultar no Quadro 1.

OBJETIVO

Este artigo tem como objetivos descrever os eventos que resultaram no rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, MG, Brasil e apresentar os limites das ações tomadas para corrigir as falhas verificadas ao longo da operação da barragem.

METODOLOGIA

Utilizou-se a análise documental e os dados do Relatório de Análise de Acidente – Rompimento da Barragem de Rejeitos Fundão, em Mariana, M.G.⁵, elaborado pela equipa de Auditores-Fiscais do Trabalho da Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais, do Ministério do Trabalho do Brasil, da qual fizeram parte os autores. Realizou-se ainda pesquisa documental e bibliográfica sobre teorias de fatores organizacionais dos acidentes.

RESULTADOS

A Barragem de Rejeitos de Fundão – BRF

A Barragem de Rejeitos do Fundão (BRF), a Pilha de Rejeitos da Cava do Germano e a Barragem de Rejeitos do Germano integravam o sistema de disposição de rejeitos da Samarco Mineração S.A, na Unidade Germano, localizada em Mariana, no Estado de Minas Gerais, Brasil. Do ponto de vista ambiental era classificada na categoria III, a de mais alto risco em função da altura do maciço, volume do reservatório, ocupação humana a jusante, interesse ambiental e instalações à jusante da barragem, conforme a legislação em vigor⁶.

De acordo com o projeto inicial, a BRF era composta de dois diques. O Dique 1 armazenaria somente resíduos arenosos e o Dique 2 armazenaria resíduos finos, a lama. A barragem iniciou sua operação em dezembro de 2008, sendo sucessivamente alteada pelo método a montante.

O material depositado na BRF era composto aproximadamente por 70% de detritos arenosos e 30% de finos/lama, conforme o “Relatório de Análise de Acidente – Rompimento da Barragem de Rejeitos Fundão, em Mariana – MG”, elaborado por Auditores-Fiscais do Trabalho da Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais⁵.

Em janeiro de 2012, a BRF acumulava cerca de 5 milhões de metros cúbicos de rejeito, enquanto em 2014 o volume estava em 41 milhões de metros cúbicos e ocupava uma área de cerca de 1 milhão de metros quadrados. Em outubro de 2015, o reservatório já acumulava 51 milhões de metros cúbicos. Ao final do projeto, em 2019, previa-se um volume final de 91,886 milhões de metros cúbicos e uma altura máxima de 130 metros.

Investigações realizadas por Comitê⁷ contratado pela empresa para analisar as causas do rompimento da BRF revelaram que:

“investigações de engenharia revelaram mais tarde falhas de construção graves no dreno de fundo (da barragem) e em seus filtros, incluindo um trecho da saída do dreno que nunca tinha sido concluído. Isso permitiu que a pressão de água dentro dele aumentasse até causar erosão e deslizamento do talude; com isso o elemento mais importante do conceito do projeto original tornou-se inoperante”.

Dois fatos relevantes marcaram de forma contundente o histórico da BRF. O primeiro foi o desvio do eixo da barragem em 2012, sem a elaboração de um novo projeto ou de um estudo técnico que o referenciasse. Em segundo lugar, em agosto de 2014, ocorreram grandes trincas (rachaduras) no barramento exatamente na região do desvio do eixo, junto à ombreira esquerda. Estas chegaram a ter duzentos metros de comprimento e até sete centímetros de largura⁵.

A consultoria contratada pela empresa, recomendou em novembro de 2014, a redução dos parâmetros de resistência dos rejeitos arenosos utilizados para a construção do barramento, entre eles o ângulo de atrito⁵. Contudo, a empresa contratada para realizar as inspeções anuais de segurança na BRF e o cálculo do fator de segurança de estabilidade do maciço decidiu manter os parâmetros de resistência. Obtinha-se então um fator de segurança de estabilidade do barramento acima do mínimo preconizado pela legislação brasileira (Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas 13.028/2006), que era de 1,5⁵.

Outra recomendação importante do relatório da consultoria contratada foi que a área do desvio do eixo deveria ser preenchida “o mais rápido possível” e que “todos os esforços fossem envidados para completar esse trabalho em regime prioritário”, sendo que a empresa estimava a necessidade de um ano para esse preenchimento. No entanto, em novembro de 2015, pode-se afirmar que o

preenchimento da área do recuo do eixo ainda demoraria muito tempo para ser completado⁵.

A Figura 2 apresenta o aspecto geral da BRF em 27 de outubro de 2015, ainda a manter o desvio do eixo realizado em 2012.

No dia 5 de novembro de 2015, aproximadamente às 15h45min, a BRF rompeu, provocando a liberação de mais de 34 milhões de metros cúbicos de detritos (correspondente a aproximadamente 68 milhões de toneladas). A Figura 3 apresenta fotografia da BRF pós-rompimento.

O rompimento da BRF formou uma onda de cerca de 10 metros de altura e deixou um rastro de destruição ambiental por toda a bacia do Rio Doce. Ela provocou a morte de treze trabalhadores, cinco moradores (três adultos e duas crianças) e o desaparecimento de outro trabalhador; varreu do mapa o subdistrito de Bento Rodrigues e atingiu fortemente o subdistrito de Paracatu de Baixo. Todos os treze trabalhadores mortos prestavam serviços como subcontratados e o trabalhador desaparecido era da Samarco Mineração S.A. No dia do rompimento, mais de seiscentas pessoas trabalharam no local.

Com a destruição da bacia do Rio Doce até o Estado do Espírito Santo, mais de dez mil postos de trabalho foram fechados, milhares de agricultores e pescadores ficaram sem trabalho.

No dia do rompimento, a crista da BRF estava na elevação entre 898 metros e 900 metros, ou seja, altura entre 106 metros e 108 metros a partir de sua base, que ficava na elevação 792 metros.

Linha do tempo: Histórico da BRF

Em abril de 2009, foi observada uma forte percolação no talude de jusante do Dique 1 a poucos metros do dreno de fundo principal, em cota superior a este (por volta da Elevação 820 metros), que evoluiu para um *piping*. Sucessivamente ocorreu uma cadeia de eventos indicativos de problemas na drenagem da BRF que explicam sua ruptura e que podem ser resumidos no Quadro 2.

Acrescidos aos eventos listados no Quadro 2 foi relatado no dia do acidente a ocorrência de 3 pares de sismos na região da BRF, sendo o primeiro detectado às 13h01m50s, com magnitude de 2,3 na escala Richter, e o último às 15h59m28s, com magnitude de 2,2.

Quanto aos sismos o Relatório de Análise de Acidente – Rompimento da Barragem de Rejeitos Fundão, em Mariana – MG ⁵ aponta:

“Segundo o Centro de Sismologia da USP (Universidade de São Paulo), só em casos muito especiais tremores de terra de pequena magnitude (<3) poderiam causar danos diretos a qualquer construção civil ou barragem. Informa ainda que o rompimento de barragens de rejeito por liquefação, conforme literatura existente, sempre foi associado a sismos com magnitude superior a 5”.

Analisando os documentos entregues à equipa de fiscalização, entre esses, o projeto da barragem e Manual de Operação do Sistema de Rejeitos do Fundão, não foi possível verificar se os parâmetros de dimensionamento da barragem de Fundão consideraram a ocorrência de sismos, conforme orientação do Manual de Segurança de Barragens 2002 do Ministério da Integração Nacional. A desconsideração de parâmetros relativos a sismos no projeto original da BRF foi confirmada pelo engenheiro projetista da barragem. Reiteramos que, segundo o projetista, foi “utilizado o conceito de empilhamento drenado, que mantém o maciço da barragem **sem saturação**, portanto, não susceptível aos problemas decorrentes dos efeitos de abalos sísmicos que afetam as áreas saturadas”

Além disso, nenhum representante da Samarco soube informar qual o sismo máximo que a barragem suportaria sem romper.

Verifica-se que a barragem rompeu na região que já havia apresentando grandes trincas em 2014, isto é, na sua região de menor resistência, mais fragilizada.

Assim, mesmo que um sismo induzido de apenas 2.6 na Escala Richter tivesse atingido a estrutura da BRF, a contribuição deste teria funcionado apenas como um gatilho para a liquefação. Um sismo desta magnitude não teria rompido ou mesmo danificado uma estrutura que não estivesse saturada devido a problemas de drenagem, que não tivesse apresentado grandes trincas em 2014, e sobre a qual não se movimentassem diariamente inúmeros equipamentos pesados.

Em síntese, informa o Centro de Sismologia da USP, que “pequenos tremores de terra nessa região de Minas Gerais são relativamente comuns.”

Assim, o aparecimento de água no barramento (surgências) ocorrido em 2013, 2014 e 2015 e as grandes rachaduras que surgiram em 2014 na região do recuo do eixo, na ombreira esquerda, com saturação do solo naquela região, demonstraram que a BRF apresentava problemas em relação à percolação de água pelas suas estruturas. Associando os fatos mencionados às várias obras que ocorriam simultaneamente (ombreira esquerda, ombreira direita), com o trânsito constante de máquinas pelos vários níveis da mesma, às detonações que aconteciam diariamente na mina vizinha à BRF, a liquefação foi o fenômeno que a atingiu a barragem, levando-a a ruptura total, que se iniciou na região do recuo do eixo, junto à ombreira esquerda.

A Figura 4 apresenta um resumo dos acontecimentos que culminaram com o rompimento da BRF.

DISCUSSÃO

Acidentes ampliados como este não possuem uma causa única, mas resultam de uma combinação de fatores acumulados ao longo do tempo, cuja origem pode ser explicada por decisões técnico-organizacionais tomadas ao longo da história do sistema ou mesmo políticas tomadas ao longo da história do sistema. No caso do rompimento da BRF, decisões gerenciais foram tomadas em relação à operação e à manutenção do sistema de disposição de rejeitos, que tiveram um “período de incubação” antes do desenlace fatal.

Nas palavras de Turner, citado por Llory e Montmayel¹⁰, o período de incubação caracteriza-se pelo aparecimento de sinais anunciadores de um possível acidente. Segundo estes autores, os sinais citados podem evoluir de sinais fracos e repetitivos, incidentes menores, mas frequentes, a incidentes e sinais mais graves, até quase acidentes, em que faltou pouco para que acontecesse uma catástrofe.

Por que, no caso da BRF, os sinais existentes não foram reconhecidos a tempo e tratados na urgência necessária? Até que ponto fazia sentido para os operadores a adoção de tentativas de correção dos defeitos do sistema que logo depois apresentava sinais de esgotamento ou se mostrava insuficiente para a correção pretendida, levando a adoção de outras medidas na tentativa de manter a integridade e o funcionamento da barragem?

Por seu turno Llory¹¹ lembra que:

“os técnicos sempre se vêem entre a “cruz e a espada” tendo que garantir a exploração dos sistemas técnicos, produzir (afinal foi para isto que se conceberam, a princípio, esses sistemas) e, ao mesmo tempo, limitar a produção, interromper a exploração por um período mais ou menos longo para realizar verificações, controle, modificações técnicas, sem que tenha sempre a capacidade técnica de demonstrar com grande probabilidade, ou quase certeza, que estas precauções são realmente necessárias, justificadas, e não complicadas, ineficazes, talvez até mesmo inúteis”.

No caso deste acidente, seguido de uma catástrofe ambiental sem precedentes no país, lembramos as palavras de Reason, citado por Mendel¹²:

“antes de considerarmos os operadores os principais causadores do acidente, é preciso compreender que eles são herdeiros dos defeitos do sistema, criados por uma concepção ruim, uma instalação malfeita, uma manutenção deficiente e por decisões errôneas da direção (...) quanto mais afastados os indivíduos das atividades de primeira linha e, assim, dos riscos diretos, mais perigosos, em potencial para o sistema”.

Quanto se leva em conta a organização da empresa Llory e Montmayeul⁹ ensinam que:

“o acidente ou quase-acidente revela os efeitos da cegueira que a organização gera insidiosa ou deliberadamente: pensamento de grupo, ilusões coletivas, auto-sugestão, pressões psicológicas etc aos quais convém acrescentar as tendências ao conformismo e autoconformidade dos gestores que os impedem de tomar posições que os distinguiriam dos colegas, assim como fenômenos de autocensura etc”.

Neste ponto cabe-nos indagar: Por que os sinais existentes e que surgiram ao longo da história da BRF não foram reconhecidos ou valorizados e tratados com a urgência necessária? Quais as causas das decisões organizacionais que levaram a não valorização dos sinais precursores do acidente e à consequente tomada de decisões que se revelaram equivocadas? Haveria espaço de autonomia dos gestores técnicos em decisões que poderiam afetar a rentabilidade da empresa?

Se estes aspectos não forem considerados, a simples adoção de mudança nos métodos construtivos de barragens de detritos pode não ser suficiente para evitar acidentes da natureza do ocorrido, pois não são apenas os paradigmas técnicos e de engenharia que determinam a segurança dos sistemas de depósitos de detritos de minério. Os sistemas e dispositivos tecnológicos não são isentos de risco e apresentam limites, imperfeições e incertezas^{8,9}.

CONCLUSÃO

Esse acidente de trabalho ampliado e sua consequente catástrofe ambiental revelam falhas nos processos de gestão da empresa, licenciamento, fiscalização, monitorização e do sistema de emergência, que foram incapazes de garantir a segurança da barragem, da própria empresa e das populações afetadas, o que nos permite concluir pela insustentabilidade da gestão ocupacional e ambiental.

O rompimento da BRF exige uma reflexão de toda a sociedade para tirarmos lições que permitam melhorar a prevenção de eventos desta natureza. Um acidente desta proporção implica uma mudança radical de paradigmas quanto ao modelo de desenvolvimento e de exploração mineral que vem sendo adotado no Brasil, e de como lidar com a segurança de sistemas de produção de riscos. Finalmente alguns aspectos relativos a acidentes da complexidade do analisado que ainda estão por ser esclarecidos:

- Quais são os processos e mecanismos de gestão que produzem acidentes desta natureza?
- Enquanto eventos complexos, que parecem escapar ao controle dos atuais sistemas de segurança e saúde no trabalho, sua compreensão nos impede a buscar uma nova metodologia de análise que deve ser multidisciplinar, articulando conhecimentos das ciências sociais, da engenharia e da psicologia, associada aos saberes da experiência dos trabalhadores. Em termos práticos, é possível superar os limites atuais dos sistemas de segurança e saúde no trabalho, estabelecendo diálogos e confrontações em um novo dispositivo para a produção de saberes sobre o trabalho que possa tornar a prevenção mais efetiva.

No caso da BRF estes fatos ainda permanecem inexplorados e necessitam de maiores e mais profundas investigações para identificar o contexto em que as decisões da organização, que deveriam zelar pela responsabilidade social e ambiental de suas unidades operacionais, foram tomadas tais como: pressão por produção, ligada à influência econômico-financeira, e os sistemas de avaliação de desempenho sobre decisões técnicas.

BIBLIOGRAFIA

1. SOARES, L. in: Barragens de Rejeitos, CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Processos Minerários. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios, Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina A. França. Rio de Janeiro, Agosto/2010⁵ Ed. – Cap. 19 – pág. 831–896.
2. CASTRO, L. Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alteada a montante. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas). Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-30092008-153409/pt-br.php>
3. GALVÃO SOBRINHO, A. Metodologia para implantação de um sistema de disposição de rejeitos em minério de ferro na região do semiárido: estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/19693>
4. ÁVILA, J. Oficina de Trabalho: Segurança de Barragens em Mineração. Gestão Operacional de Segurança e Riscos em Barragem

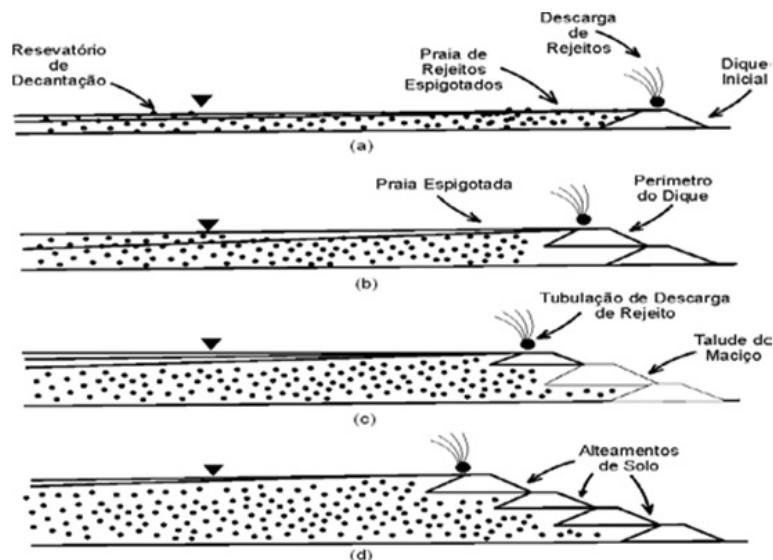
de Rejeitos. Ministério da Minas e Energia. Apresentação 2007.

5. BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência Social. Superintendência Regional do Trabalho e Emprego em Minas Gerais. Relatório de Análise de Acidente – Rompimento da Barragem de Rejeitos Fundão, em Mariana – MG. Elaborado por: Marcos Ribeiro Botelho, Mário Parreiras de Faria, Cristiano da Silva Rodrigues Garcia, Mara Queiroga Camisassa de Assis e Adriana Lúcia da Silva Jardim. Belo Horizonte, abril 2016, 138 p. Disponível em: http://ftp.medicina.ufmg.br/osat/relatorios/2016/SAMARCOMINERACAORELATORIOROMPIMENTOBARRAGEM20160502_09_05_2016.pdf
6. COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/barragem/Normativa-COPAM-MG-62-2002.pdf> Acesso em: 05 abr 2018
7. MOGENSTERN N, VICH S, VIOTTI C, WATTS, B. Relatório sobre as Causas Imediatas da Ruptura da Barragem de Fundão. 26 de agosto de 2016. Disponível em: <http://fundaoinvestigation.com/wp-content/uploads/general/PR/pt/FinalReport.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2018.
8. FARIA, M. Fatores intervenientes na segurança do trabalho de abatimento mecanizado de rochas instáveis em uma mina subterrânea de ouro. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública. Área de concentração: Saúde e Trabalho). Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2008. 66f.: il.

Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ECJS-7KDMNT>

9. COLLINS, H.; PINCH, T. *O Golen à solta: o que você deveria saber sobre tecnologia*. Harry Collins e Trevor Pinch: Tradução de Giácomo Patrocínio Figueiredo. – Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010. 228 p.
10. LLORY M, MONTMAYEUL R. *O Acidente e a Organização*. Tradução de Marlene Machado Zica Vianna, Belo Horizonte: Fabrefactum, 2014, 192 p.
11. LLORY, M. – *Acidentes industriais: o custo do silêncio*. Operadores privados da palavra e executivos que não podem ser encontrados. Tradução Alda Porto. MultiMais Editorial. Rio de Janeiro, 1999. 320p.
12. MENDEL, G. Prefácio. In: Llory, M. – *Acidentes Industriais: o custo do silêncio*. Operadores privados da palavra e executivos que não podem ser encontrados. Tradução Alda Porto. MultiMais Editorial. Rio de Janeiro, 1999. 320 p.

Figura 1. Sequência de alteamento de barragens de rejeito pelo método de montante modificado.



Fonte: Vick, 1983, apud Soares¹

Quadro 1 – Histórico de rupturas de barragens de contenção de rejeitos em Minas Gerais, Brasil.

Ano	Mina/Município	Causa da ruptura	Danos Provocados
1985	Pico/Itabirito	Solapamento do pé do aterro e entubamento	Lama fluíu até 10 km a jusante. Pontes e ferrovia.
1986	Fernandinho/Itaminas-Itabirito	Liquefação	7 mortes e destruição de laboratórios e equipamentos
2001	Mineração Rio Verde/Nova Lima	Provável liquefação	5 mortes e danos ambientais
2003	Cataguases	Entubamento (piping)	Lixívia negra liberada. Interrupção do fornecimento de água

2006	Mineração Rio Pomba Cataguases Ltda / Mirai	Rompimento de 3 placas de madeiras superiores no vertedouro provocou o deslocamento de umas das placas e surgimento de uma fissura de 30,0 cm de comprimento e 4,0 largura	Vazamento de rejeitos de bauxita nos Córregos Bom Jardim e Fubá e do Rio Muriaé e interrupção do fornecimento de água.
2007	Mineração Rio Pomba Cataguases Ltda /Mirai	Não determinada	Danos ambientais
2014	Herculano Mineração Ltda/Itabirito	Liquefação	5 mortos e danos ambientais
2015	Samarco Mineração S.A/Mariana	Liquefação	18 mortos, 1 desaparecido e danos ambientais ao longo da bacia do Rio Doce

Fonte: Modificado de Soares² e Ávila⁴

Figura 2: Vista geral da BRF pré-rompimento.



Nota: Os números indicam as cotas de elevação em relação ao nível médio do mar

Figura 3: BRF após o rompimento em 01/12/2015 – vista do encaixe das ombreiras direita (na parte inferior da foto) e esquerda (na parte de cima da foto).



Fonte: Mário Parreiras de Faria

Quadro 2 – Sequência de eventos ocorridos na Barragem de Rejeitos do Fundão

ANO	DATA	EVENTO
2008	02/Dez	Início da deposição de rejeitos
2009	Abril	Forte percolação no talude de jusante do Dique 1, a poucos metros do dreno de fundo principal, provocando processo erosivo interno em seu maciço. O lançamento de rejeitos junto ao Dique 1, foi interrompido.
2009	N.I.	Rebaixamento do lago e investigações nos drenos de fundo principal e secundário, localizados à jusante e à montante do Dique 1. Verificados sinais claros de colmatagem dos drenos e sendo sua recuperação pouco confiável, foram completamente removidos da região de saída do talude de montante do Dique 1.
2009	N.I.	Implantação de um tapete drenante a montante do Dique 1, elevação 826 m. O sistema contou ainda com sistema de descarga de água constituído por 27 tubos dreno com diâmetro de 100mm.
2010	Julho	Passagem de rejeito arenoso para jusante do Dique 1 através da galeria principal, desencadeando um cone de sucção (<i>inkhole</i>). Evidenciou-se abertura de juntas de dilatação entre os módulos que possibilitava a passagem de rejeitos para o interior da estrutura, em razão de recalque da fundação. Na galeria secundária foram verificadas trincas no concreto e juntas com vazamento.
2010	Agosto	Construção do Dique 1A, a montante do Dique 1 (situação de contingência), para que a produção não fosse prejudicada.

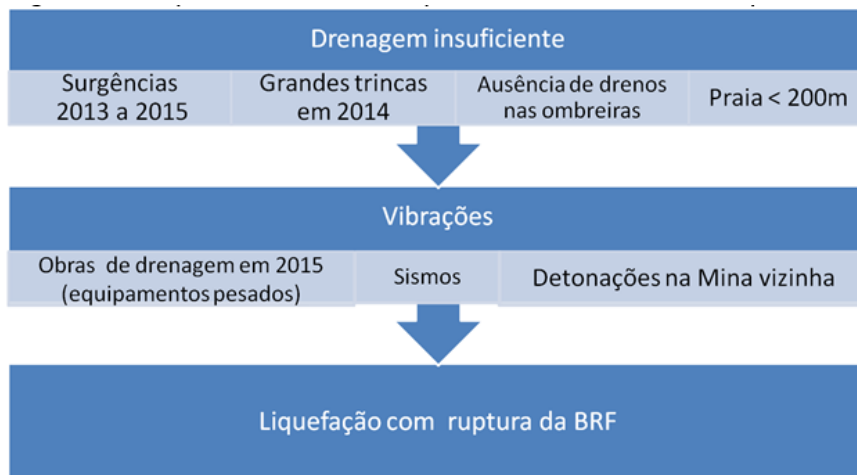
2011	Jan	Início da obra de recuperação do terreno da fundação da galeria principal através de Jet Grouting, término em junho de 2011.
2011	20/Jul	Elaboração de novo projeto do Dique 1 da BRF pela Pimenta de Ávila.
2012	N.I.	Mudança do eixo do Dique 1 da BRF, sem novo projeto.
2011	08/Nov	Início do reforço do terreno da fundação da galeria secundária através de Jet Grouting, com término em 30/04/2012.
2012	N.I	Construção de extravasor auxiliar, constituído de duas galerias em PEAD, diâmetro de 1,20m, junto à ombreira direita, com término em janeiro de 2013.
2012	N.I	<i>Sinkhole</i> na região do recuo do eixo, elevação 860 m, junto à ombreira esquerda.
2012	12/Dez	Início do plugamento (concretagem) das galerias principal e secundária, com término em 11/09/2013.
2013	Jan	Início da construção do quarto extravasor, junto à ombreira direita.
2013	18/Fev	Projeto de drenagem da Pilha de Estéril União (Vale).
2013	Agosto	Surgência na elevação 855 m da ombreira esquerda do Dique 1.
2013	Set	Início de execução da obra de drenagem junto ao pé da Pilha de Estéril (PDE) União, Mina da Vale S.A.
	Nov	Surgência na ombreira esquerda, elevação 860 m, com saturação na face do talude e desmoronamento localizado.
2014	Jan	Prolongamento do quarto extravasor e extravasor auxiliar da BRF – cota 900.
2014	Mar	Término da obra de drenagem junto ao pé da PDE União, pertencente à Vale S.A.
2014	Março	Início do projeto executivo da drenagem interna complementar da BRF, junto à ombreira esquerda, elaborado pela empresa VOGBR, visando alteamento até à elevação 940 m.
2014	27/Ago	Surgimento de trincas longitudinais de compressão e tração na região do recuo do eixo, elevação 862 m à elevação 863 m, em taludes e bermas de diques à jusante, até chegar à crista (elevação 885 m), avançando sobre a praia de rejeitos.
2014	N.I	Surgência ombreira direita na elevação 850 m.
2014	24/Nov	Início obra de drenagem complementar da BRF, na região do recuo do eixo, ombreira esquerda, elevação 860 m, 1ª Fase da Etapa 1, executada pela empresa AC Parceria, fiscalizada pela empresa ERG, concluída em janeiro/2015.
2015	Janeiro	Surgência na ombreira direita na elevação 855 m.
2015	Mai	Início execução de drenagem complementar da BRF, na região do recuo do eixo, ombreira esquerda, elevação 860 m, 2ª Fase da Etapa 1, término em agosto/2015.
2015	Julho	Início da obra de drenagem junto à ombreira direita, executada pela empresa Integral Engenharia
2015	Ago	Início de obras de drenagem complementar da BRF.
2015	SET	Lançamento de rejeito arenoso na região do recuo do eixo, junto à ombreira esquerda, sobre o dreno lançado na elevação 860m. Rejeito arenoso lançado pela empresa VIX, sob supervisão da Samarco.
2015	OUT	Perda da leitura dos piezômetros automáticos.
2015	05/Nov	Rompimento da BRF.

Fonte: Modificado de: Relatório de Análise de Acidente – Rompimento da Barragem de Rejeitos Fundão, em Mariana – MG ⁵.

Notas explicativas:

1. N.I.: Não informada
2. Colmatação: Carreamento de material sólido através dos drenos que pode ter como consequência a obstrução dos vazios de material drenante e consequente diminuição de sua permeabilidade.
3. Jet Grouting: Procedimento de injeção, sob alta pressão, de uma mistura de solo-cimento, como forma de reforço do solo ou melhorar de suas propriedades, p. ex., permeabilidade.
4. PEAD: Polietileno de alta densidade.
5. Extravasor: Sistema para escoamento de águas superficiais. No caso da Barragem de Fundão era composto por duas galerias de concreto implantadas no fundo do vale conectadas a duas tulipas inclinadas.
6. Ombreiras: Elevações no terreno natural onde as extremidades do dique se apoiam. As cargas sobre o dique (pressão que os rejeitos fazem sobre o mesmo), pela geometria e construção da barragem, são transferidas para as ombreiras, que impedem que, por exemplo, todo o dique seja empurrado para jusante.
7. *Sinkhole*: Sumidouro ou cavidade no solo ou erosão causada por água, proporcionando uma rota ou caminho para as águas superficiais em direção ao subsolo.
8. Surgência: Aparecimento de água. Em barragens, a passagem da água ocorre apenas pelo corpo do barramento, podendo provocar o surgimento ou percolação de água no talude o que possibilita a formação de entubamento ou *piping* (erosão interna do maciço ou do talude) cuja ação, em consequência do seu surgimento, seria incontrolável com consequente perda de sua capacidade de suporte ou resistência.
9. Piezômetro: Dispositivo de medição hidrostática (ou poro pressão) no interior do terreno. Equipamento utilizado para monitoramento do comportamento da água subterrânea que percola em diferentes pontos ao longo da barragem. A instalação apropriada, leitura periódica, interpretação dos dados coletados e ações correspondentes são medidas imprescindíveis para a manutenção da segurança de uma barragem. O local de medição deve ser isolado de qualquer possibilidade de contato com a pressão atmosférica ou com outra camada do terreno diferente daquela onde se deseja fazer a medição.

Figura 4 – Sequência de eventos que culminaram com o rompimento da BRF



(1) Mário Parreiras de Faria

Auditor-Fiscal do Trabalho da Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais. Médico (UFMG), Especialista em Medicina do Trabalho pela Associação Nacional de Medicina do Trabalho/ Associação Médica Brasileira. Mestre em Saúde Pública (área de concentração Saúde e Trabalho) pela Faculdade de Medicina da UFMG. Professor do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC de Belo Horizonte/MG. Coordenador da Comissão Permanente Nacional do Setor Mineral do Ministério do Trabalho. Morada: Rua Alves do Vale, 11/401. Bairro Luxemburgo, CEP: 30.380-320, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. E-mail: marioparreiras55@gmail.com.

(2) Marcos Ribeiro Botelho

Auditor-Fiscal do Trabalho da Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais. Engenheiro Civil (UFMG), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (FUMEC) e Ergonomia (UFMG), Mestre em Trabalho, Saúde e Ambiente (Fundacentro), Professor do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da PUC/MG e do UNI/BH. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil E-mail: marcosrbotelho@uol.com.br.

Faria M, Botelho M. O Rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais, Brasil: a Incubação de um Acidente Organizacional. Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional on line. 2018, volume 5, 73-85. DOI: 10.31252/RPSO.01.05.2018.