

**OS PROCESSOS DE ALTEAMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO,  
DA MINERADORA SAMARCO EM MARIANA (MG), FORAM OS RESPONSÁVEIS  
PELO ROMPIMENTO?**

**Thiago Awad Prudente<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Salvador (7º semestre). e-mail: [thiagoawad@hotmail.com](mailto:thiagoawad@hotmail.com)

**José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos**

Graduação em Geologia pela Universidade Federal da Bahia. Especialização pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestrado e Doutorado em Engenharia Mineral pela Universidade de São Paulo. e-mail: [jose.anjos@ufba.br](mailto:jose.anjos@ufba.br)

**Antônio Gabriel Lessa Soares**

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Salvador (7º semestre). e-mail: [gabriel.lessasoares@outlook.com](mailto:gabriel.lessasoares@outlook.com)

**RESUMO**

O rompimento da barragem de Fundão em Minas Gerais, da mineradora Samarco, foi responsável pelo maior desastre ambiental na história do Brasil. A elevação dos preços do minério de ferro impulsionou o aumento da produção no empreendimento, tornando necessário obras de reestruturação das barragens para devida acomodação do volume de rejeito. As modificações de forma incorreta dessas estruturas podem ser evidenciadas como causas prováveis do rompimento, e posterior acidente ambiental, quando relacionadas com outros fatores naturais e antrópicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Alteamento, Rompimento, Barragem de Rejeito.

**INTRODUÇÃO**

O mineral não pode ser comercializado tal como se apresenta na natureza, sendo necessários diversos processos de tratamento da rocha que o contém. Paralelamente ao beneficiamento do minério, ocorre, inevitavelmente, a produção de materiais de descarte conhecidos como resíduos estéreis e rejeitos (PASSOS, 2009).

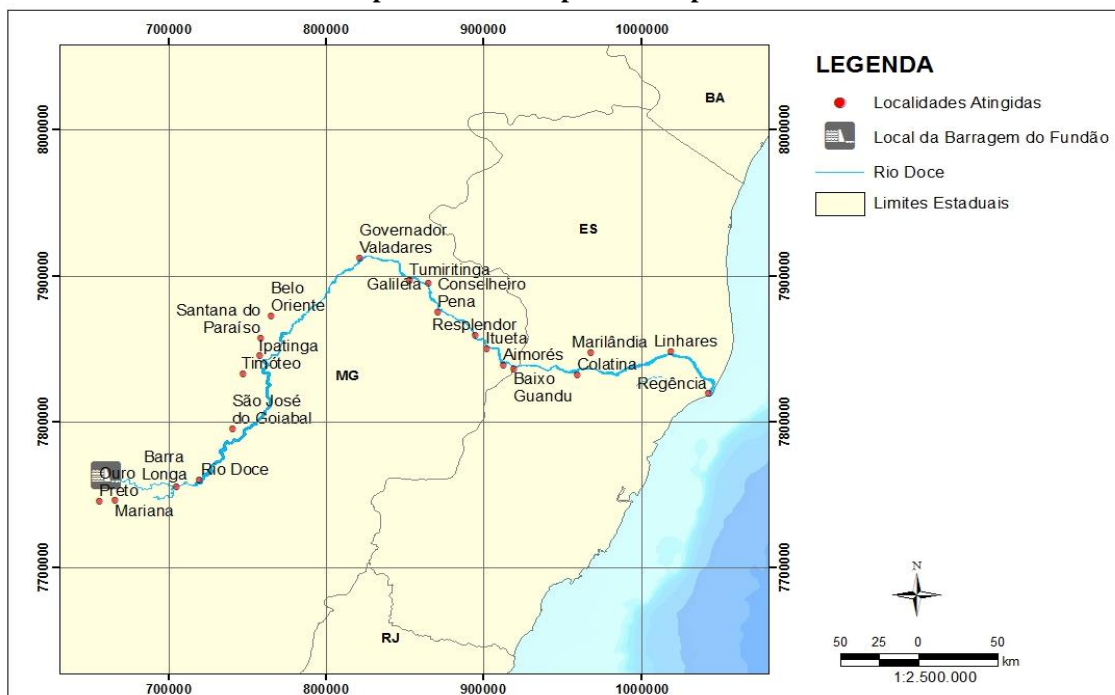
Segundo Lozano (2006), os resíduos são resultantes do processo de beneficiamento físico do minério e também eventual tratamento químico. Tanto os rejeitos como os resíduos estéreis não possuem valor econômico agregado. Os rejeitos possuem uma grande quantidade de água, quando não armazenado corretamente pode-se trazer inúmeros problemas associados.

O tratamento, armazenamento e gerenciamento desses resíduos sólidos é fundamental para as empresas mineradoras, esses são os principais impactantes ao meio ambiente na fase de operação de qualquer atividade mineral. Segundo Passos (2009), as empresas do setor de mineração vêm procurando novas alternativas para a disposição dos rejeitos de forma mais econômica e segura, isso porque são produzidos em grande escala, o que torna imprescindível a utilização de processos sistemáticos de disposição.

Barragem de rejeitos são estruturas que têm a finalidade de reter os resíduos sólidos e água dos processos de beneficiamento do minério. Seu Planejamento inicia com a procura do local para implantação, etapa na qual se deve vincular todo tipo de variáveis que direta ou indiretamente influenciam a obra: características geológicas, hidrológicas, topográficas, geotécnicas, ambientais, sociais, avaliação de riscos, entre outros (LOZANO, 2006, por PASSOS, 2009).

O rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Samarco em Minas Gerais, pertencente a Vale e a anglo-australiana BHP Biliton, ocasionou a destruição do distrito Bento Rodrigues em Mariana, no 05 de novembro de 2015. Estudos realizados pelo Ministério Público e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) de Minas Gerais, vazou um total de 62 milhões de metros cúbicos da lama. Tal acidente afetou um total de 679 km de rios, sendo 114 km entre a barragem até a usina de Candonga – 12 km do Rio Doce, 28 km do Rio Carmo, 69 km do Rio Gualaxo do Norte, 3 km do córrego Santarém e 2 km do afluente do córrego Santarém e mais 564 km do rio Doce desde a usina até a sua foz, em Linhares, no Espírito Santos (HIROTA, 2015), percorrendo um montante de 879 km de distância desde a barragem até a foz do Rio Doce, em Regência (ES).

Mapa 01: Caminho percorrido pela lama



Fonte: Própria.

A produção de minério da mineradora Samarco cresceu significativamente nos últimos tempos, gerando também um volume maior de rejeito armazenado nas barragens. Logo, foi-se necessário a adequação das estruturas das barragens, em especial a de Fundão, para suportar maior quantidade de rejeito, na qual passou por obras de alteamento ou ampliação do dique. Segundo Abraão (1987), são utilizados três principais métodos de alteamento sucessivos, são eles: Método de Montante, Método de Jusante e Método de Linha de Centro.

O método de Montante aproveita os rejeitos depositados para a estrutura, no qual é lançado a montante ao longo da barragem. As partículas mais densas do material precipitam-se no fundo do reservatório reforçando a estrutura, e as menos densas acumulam-se nas paredes do dique, sempre a montante. O método de Jusante consiste em utilizar a parte mais densa do próprio rejeito, ou algum outro material cabível, para deposição e compactação no talude do dique, sempre a jusante. Já o método de Linha de Centro, aproxima-se do método de Jusante, porém, constrói-se um dique inicial no qual o rejeito é lançado periféricamente (PASSOS, 2009).

O Método de Montante, também chamado de Construtivo, foi o escolhido para alteração da barragem de Fundão. Segundo Passos (2009), esse método construtivo torna-se atraente e viável, pois distribui ao longo do tempo os custos envolvidos no alteamento (ampliação das estruturas da barragem) e dá flexibilidade de operação à mineradora. Os alteamentos podem ser feitos com o próprio rejeito desde que esses contenham 40 a 50% de areia e com alta porcentagem de sólidos pesados para que ocorra a segregação granulométrica do rejeito (VICK, 1983; LOZANO, 2006, por PASSOS, 2009).

A Lei de nº 12.334 de 2010 no qual “Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens...”, segundo o Art. 8º inciso VII, O Plano de Segurança da Barragem deve compreender, no mínimo, as seguintes informações: Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido; algo que a Samarco não possuía até o momento em questão.

## OBJETIVOS

Esse estudo tem como objetivo geral identificar a possível causa do rompimento da barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais, no qual ocasionou diversos impactos ambientais negativos tanto ao ambiente, quanto ao meio socioeconômico.

Tem como objetivos específicos:

- Avaliar a opção escolhida para o processo de alteamento da barragem de Fundão;
- Analisar o processo construtivo de Montante como possível causa para o rompimento;
- Evidenciar processos naturais impactantes sobre a estrutura da barragem;
- Evidenciar processos antrópicos impactantes sobre a funcionalidade da estrutura; e
- Relacionar processos antrópicos e naturais a obra de alteamento.

## METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados secundários obtidos através de pesquisas, tais como: revistas, artigos, dados quantitativos publicados e disponibilizados na internet, matérias de jornais publicadas desde 06 de Novembro de 2015 até presente momento, assim como informações de alguns sites oficiais de Órgãos Públicos, especificamente da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais – SEMAD, Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais – FEAM, Ministério Público Federal e Estadual de Minas Gerais, Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, e do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia– INEMA.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Método de Montante é o mais primitivo e não recomendado para grandes volumes segundo CASTRO (2008), porém o mais aplicado. Nesse processo, o rejeito é lançado à montante da crista ao longo de seu perímetro, formando uma praia. As partículas mais grossas e pesadas do rejeito sedimentam e alojam-se nas zonas perto do dique, enquanto as mais leves e menores são transportadas para as zonas internas da praia. O processo de alteamento da barragem é feito sucessivamente em todo o perímetro até a elevação desejada, deslocando o eixo da crista sempre para a montante (PASSOS, 2009).

Os alteamentos podem ser feitos com o próprio rejeito desde que esses contenham 40 a 50% de areia e com alta porcentagem de sólidos pesados para que ocorra a segregação granulométrica do rejeito (VICK, 1983; LOZANO, 2006, por PASSOS, 2009).

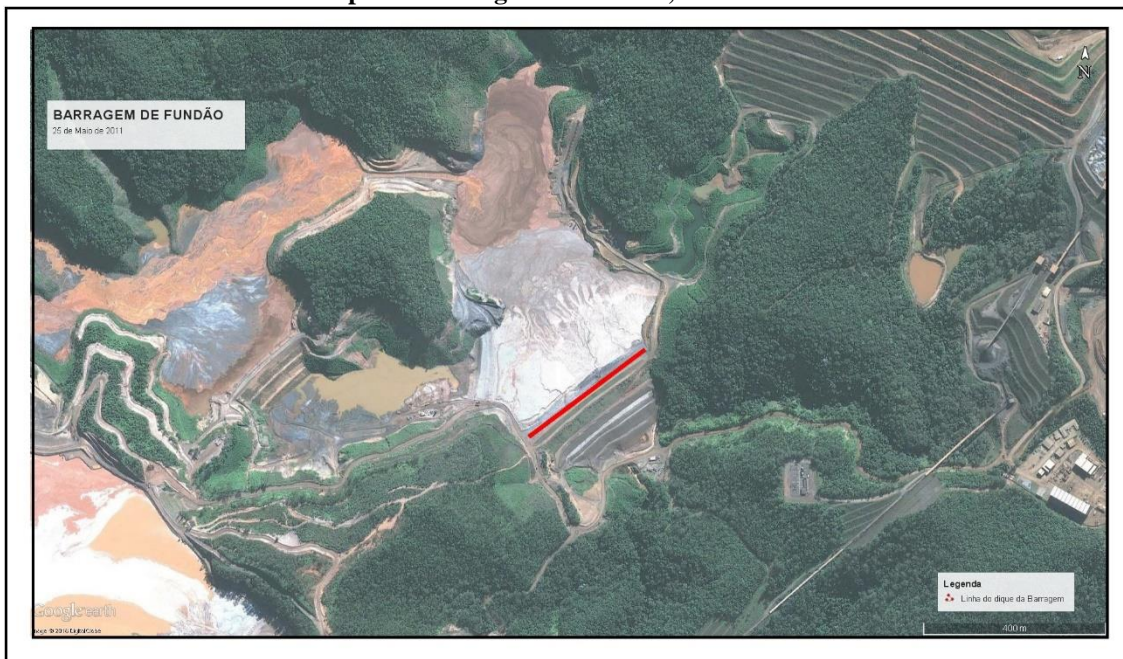
As vantagens e desvantagens desse método torna-o duvidoso quanto a segurança da barragem. Segundo Chammas (1989), o baixo custo, rapidez nos alteamentos e facilidade de operação são as principais vantagens desse tipo de processo. Porém, desvantagens como baixa segurança, susceptibilidade e liquefação e altura limitada ultrapassam muitas das suas vantagens.

A mineradora aumentou sua produção em cerca de 37% no período de 2012 a 2015. Devido a isso, tornou-se necessário a adequação da barragem para suportar maior quantidade de rejeito. A empresa tinha autorização da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) para elevação da barragem para chegar a 920 metros acima do nível do mar, porém, antes do acidente operava-se a 898 metros. Técnicos da SEMAD sugeriram, por meio de um parecer técnico confirmado pelo COPAM, o deferimento da operação na barragem de Fundão.

Segundo informações do relatório da Polícia Federal, divulgado pelo Jornal do Estado de São Paulo, a empresa Samarco ampliou a barragem de Fundão acima do ideal. O processo de alteamento executado na época da ruptura chegaria a 15 metros em apenas um ano. Porém, a reportagem do jornal afirma que, um estudo da polícia mostra que o alteamento em represas, como a de Fundão, deveria ser de 5 a 10 metros/ano (ÂNGELO, 2016).

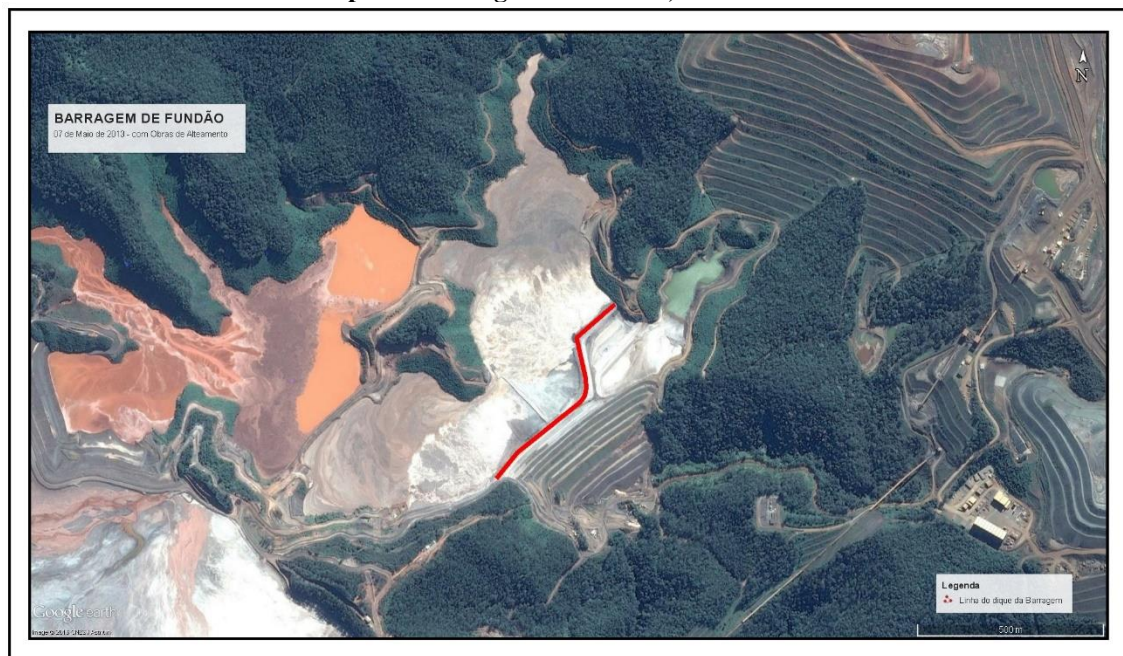
Em maio de 2011, a barragem estava em linha reta. Com o aumento da produção e a necessidade de ampliação, apenas em dois anos, tomou-se forma diferente. Segundo o promotor do Ministério Público, Felipe Faria de Oliveira, o alteamento autorizado era de formato retilíneo, acompanhando os alteamentos anteriores. No entanto, realizou-se um recuo do eixo da barragem sem autorização. A comunicação dessa alteração aos órgãos competentes é fundamental, pois assume critérios de segurança das estruturas de barragem para ser acompanhada.

**Mapa 02: Barragem de Fundão, maio de 2011**



Fonte: Google Earth, 2011. Alterada pelo autor.

**Mapa 03: Barragem de Fundão, maio de 2012**



Fonte: Google Earth, 2013. Alterada pelo autor.

Outra possível causa do acidente pode ter sido dada pelo excesso de água, ocasionando uma liquefação dos rejeitos, na qual é a maior causa de ruptura de barragem de contenção de rejeitos é a liquefação numa porcentagem de 46,7% (CASTRO, 2008). Segundo o Professor de Engenharia Hidráulica da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), esse processo se dá quando o material perde a capacidade de suporte mecânico, então comporta-se como água e o que se encontra sobreposto a ele, tende a afundar.

Conforme dados do Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo (USP), o abalo sísmico mais redundante na região, no dia do acidente, foi de 2,6 na escala Richter, às 16 horas 13 minutos e 52 segundos. Segundo o engenheiro Joaquim Pimenta de Ávila, projetante e consultor da barragem até 2014, na qual se rompeu por volta das 16 horas e 30

minutos, o sismo ocorrido no local somente afetaria a estrutura se o rejeito já estivesse quase saturado e próximo do estado de liquefação.

Ainda segundo Ávila, em depoimento à polícia, a Samarco estava construindo um reforço calculado de acordo com uma metodologia no qual não leva em consideração a liquefação na fundação do dique. Para a empresa, os problemas levantados pelo engenheiro foram resolvidos ainda em 2014, com a instalação de doze piezômetros, aparelhos responsáveis pela medição da pressão no qual a água exerce na barragem. Porém, não se tem documentos divulgados com os locais georreferenciados da implantação desses aparelhos.

**Mapa 04: Barragem de Fundão, julho de 2015**



Fonte: Google Earth, 2015. Alterada pelo autor.

Contudo, segundo a empresa, não havia uma previsão de recuo no projeto, porém foi necessário em função de um problema estrutural na galeria secundária da barragem, estrutura do projeto elaborado por Ávila. Esse recuo até então inevitável, foi apoiado sobre areia, matéria mais suscetível a sofrer liquefação caso não haja um controle efetivo do nível d'água e da drenagem.

## CONCLUSÃO

Em vista dos estudos realizados, o método utilizado pela empresa Samarco para obras de alteamento não se ajusta para o volume de rejeitos comportados na barragem de Fundão. O recuo imprevisto, executado de forma incoerente, juntamente com a falta de controle do fenômeno de liquefação, agravou-se devido a fenômenos naturais de abalos sísmicos onde foram fundamentais para avariar a estrutura da barragem.

O fator isolado para o rompimento da barragem é uma utopia para investigadores e população, em busca de um único responsável. Sendo assim, a causa do acidente se deu por um conjunto de fatores, capazes de resultar em um único fenômeno. Isso se verifica, seja no fato da liquefação ocorrer por meio de uma soma de erros estruturais e operacionais, seja pelo abalo sísmico, ocorrido poucos minutos antes do acidente, impulsionar a reação física do processo resultante do rompimento.

## REFERÊNCIAS

- PASSOS, N. C. de S. T. *Barragem de rejeito: Avaliação dos parâmetros geotécnicos de rejeito dos minérios de ferro utilizando um ensaio de campo – Um estudo de caso*. Universidade Federal do Paraná/UFPR. Curitiba, 2009.
- CASTRO, L. V. P. de. *Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alteada a montante*. 2008. 104p. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo/USP. São Paulo, 2008

LOZANO, FERNANDO. *Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica*. Universidade de São Paulo/USP. São Paulo, 2006.

CHAMMAS, R. *Barragens de Contenção de Rejeitos*. Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP. Ouro Preto, 1989.

ABRAÃO, P. C. *Disposição de rejeitos de mineração no Brasil*. Simpósio sobre Barragens de Rejeito e Disposição de Resíduos Industriais e Mineração. Rio de Janeiro, 1987.

ÂNGELO, P. *Ampliação de barragem em Mariana estava acima do ideal, diz PF*. Disponível em <<http://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2016/02/ampliacao-de-barragem-em-mariana-estava-acima-do-ideal-diz-pf.html>>. Acessado em 01 de Fevereiro de 2016.