



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**Gustavo Severino Guimarães Carneiro**

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Estudo das causas, impactos e medidas corretivas do rompimento de uma barragem de rejeitos, usando o caso da barragem de Mariana – MG.

UBERLÂNDIA  
2018

# **Gustavo Severino Guimarães Carneiro**

Estudo das causas, impactos e medidas corretivas do rompimento de uma barragem de rejeitos, usando o caso da barragem de Mariana – MG.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil (FECIV), da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Carlos Eugênio Pereira

UBERLÂNDIA  
2018

Estudo das causas, impactos e medidas corretivas do rompimento de uma barragem de rejeitos, usando o caso da barragem de Mariana – MG.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil (FECIV), da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Uberlândia, Julho de 2018.

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>o</sup> Carlos Eugênio Pereira  
(Orientador)

---

Prof. Joaquim Mário Caleiro Acerbi  
(Examinador - UFU)

---

Prof. Iridalques Fernandes de Paula  
(Examinador - UFU)

## **Agradecimentos**

A Deus, minha força e auxílio nos momentos difíceis. Ao meu pai, grande companheiro e incentivador. À minha mãe, exemplo de pessoa e base para minha formação. Ao meu irmão, amigo e conselheiro para todas as horas. À minha namorada, pelo apoio e incentivo. Aos meus amigos, que fizeram parte dessa jornada e contribuíram para minhas conquistas.

## Resumo

O trabalho constituirá, inicialmente, de um estudo acerca do desastre do rompimento da barragem de mineração Samarco, localizada no distrito de Bento Rodrigues, município de Mariana. O acidente será explorado a fim de evidenciar os principais fatores que levaram ao rompimento da barragem. Utilizando artigos e laudos já publicados, será estudado e explicado o conjunto de fatores que podem ter contribuído para o acidente.

Em uma segunda etapa, o incidente será abordado visando evidenciar todos os impactos ambientais, bem como, os impactos socioeconômicos na região. Este estudo deverá servir também para o levantamento de ações corretivas e mitigadoras, desenvolvidas posteriormente.

Na terceira etapa, será realizado um levantamento de possíveis ações capazes de prevenir o rompimento de uma barragem, ou ao menos minimizar seus impactos socioambientais, no caso do rompimento. Além disso, será apresentado um conjunto de ações que têm a intenção de minimizar os impactos causados após o acidente, e possíveis previsões de reestabelecimento da fauna e flora local.

## Abstract

The work will initially be about a study about the disaster of the rupture of the Samarco mining dam, located in Bento Rodrigues, municipality of Mariana. The accident will be explored in order to highlight the main factors that led to the rupture of the dam. Using articles and reports already published, will be studied and explained the set of factors that caused the accident.

In a second stage, the incident will be addressed in order to highlight all the environmental impacts as well as the socioeconomic impacts in the region. This study should also serve for the collection of corrective and mitigating actions, developed later.

In the third stage, the focus will be to survey possible actions to prevent the rupture of the dam, or at least minimize its socio-environmental impacts, in the event of disruption. In addition, a set of actions will be presented that are intended to minimize the impacts caused after the accident, and possible predictions of reestablishment of the local fauna and flora.

## Sumário

1 Introdução.....	7
2 Causas do acidente.....	8
3 Impactos Ambientais .....	8
3.1 Qualidade e disponibilidade da água .....	10
3.2 Impactos no solo e fertilidade .....	12
3.3 Impactos na vegetação ripária.....	12
3.4 Impactos na microbiota do solo e da água .....	13
4 Ações Mitigadoras .....	13
4.1 Segurança de barragens .....	13
4.1.1 Dano Potencial Associado (DPA).....	14
4.1.2 Categoria de risco.....	17
4.2 Plano de Ação de Emergência (PAE) .....	19
5 Conclusão .....	23
Referências .....	24

## 1 Introdução

No dia 5 de novembro de 2015 começou a ocorrer o maior desastre ambiental da história do Brasil e o maior do mundo relacionado a barragens de rejeito: o rompimento da barragem de rejeitos minerais de Fundão no município de Mariana (MG) e de parte da barragem de Santarém (Figura 1), pertencentes à empresa de mineração Samarco, empresa controlada pela BHP Billiton Brasil Ltda e pela Vale S.A. (Samarco, 2016).

Figura 1- Localização das barragens no município de Mariana



FONTE: G1 (Disponível em: <http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/barragem-rompida-em-mg-tinha-era-considerada-de-risco-baixo-diz-dnpm.html>)

O rompimento da barragem gerou o escoamento de cerca de mais de 55 milhões de metros cúbicos de rejeito do processo de beneficiamento do minério de ferro (Governo de Minas Gerias, 2016). Tal volume, equivalente a 5 maracanãs lotados de água até o topo, causou a morte de 18 pessoas e o desaparecimento de uma, e impactou diretamente o Rio Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e Rio Doce, bem como os fragmentos de mata ciliar. Atingiu um total de 39 municípios lindeiros desde Mariana (MG) até a foz na vila de Regência no município de Linhares (ES). Além disso, parte dos rejeitos foi carregada ao Oceano Atlântico impactando diversas praias na região e alterando o ecossistema marinho.

Não só a população de Mariana sofreu com o desastre, nesse curso de destruição cidades foram prejudicadas, ribeirões e rios sofreram impactos, índios da tribo krenak que viviam sobre a margem do rio doce, estão sem água para consumo, banho e limpeza de manuseios, por exemplo, não se esquecendo das pessoas que ali viviam e tiravam seu sustento da pesca.

## 2 Causas possíveis do acidente

Após o rompimento da barragem de Fundão, as empresas Samarco, Vale e BHP *Billiton* solicitaram ao escritório de advocacia norte-americano *Cleary Gottlieb Steen & Hamilton LLP* uma investigação acerca do caso. É importante ressaltar que a Samarco, principal responsável pelo acidente, colaborou plenamente com a investigação externa, concedendo acesso à todas as informações e acesso integral a suas unidades e empregados.

A investigação realizada pelos especialistas contratados apontou três causas que, somadas, desencadearam o início da tragédia, na ombreira esquerda da barragem. O primeiro problema relatado foi um defeito no sistema de drenagem, o que resultou na entrada de lama nas galerias e fez com que essa lama se misturasse com o material arenoso da barragem, gerando um processo de liquefação do material. A segunda causa foi que, no processo de alteamento da barragem, o recuo executado na ombreira esquerda estava ocorrendo sobre uma base de areia e lama e não apenas areia, deixando a base instável. Por último, o processo foi acelerado pela ocorrência de três abalos sísmicos na região, o que foi considerado o gatilho para o início da erosão.

## 3 Impactos Ambientais

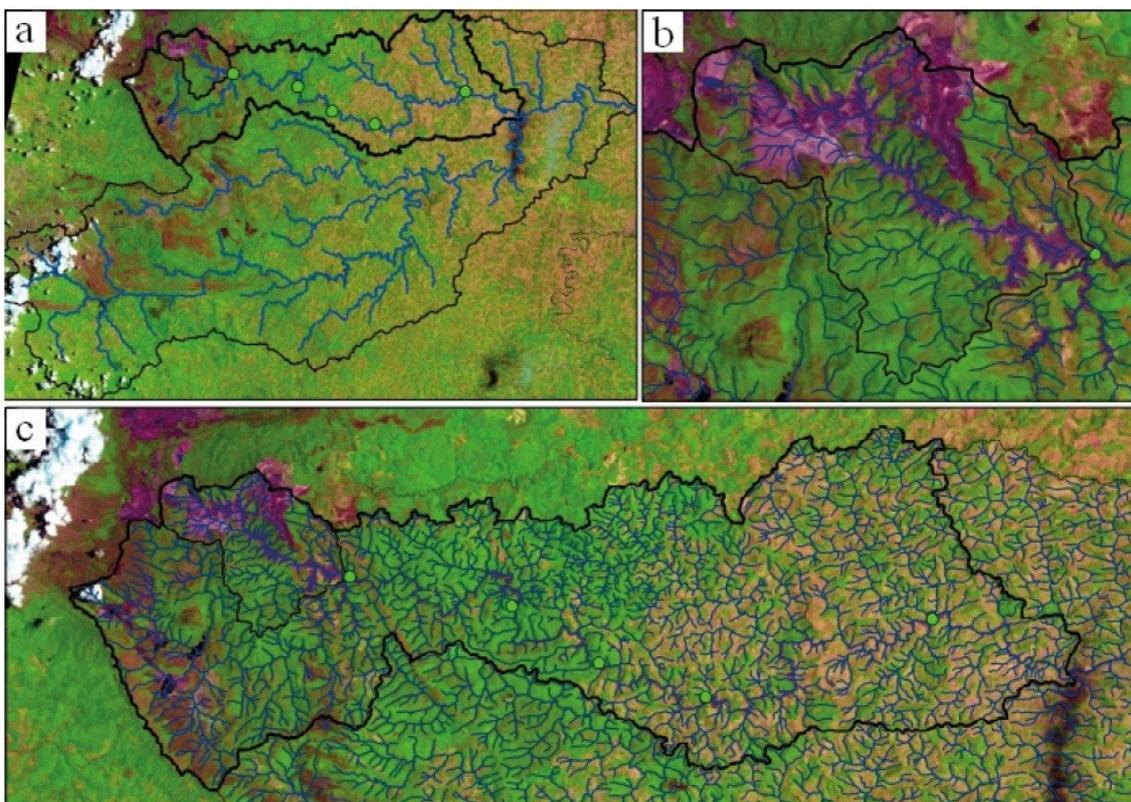
A preocupação com o meio ambiente é mais do que um compromisso a ser assumido, é uma meta em curto prazo para que se tenham condições satisfatórias de vida humana no planeta. Dentre os cuidados dispensados com o meio ambiente, o gerenciamento de resíduos é uma das ferramentas-chave de responsabilidade das empresas que trabalham com produtos químicos ou outros que podem causar algum dano, tanto a saúde individual ou coletiva, quanto a degradação ao meio ambiente (PICCOLO, 2004).

Impacto é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas, causada por qualquer forma de matéria ou energia causada pela atividade humana, podendo ser benéfica ou adversa a saúde, segurança ou bem-estar da população, atividades econômicas e sociais.

O rompimento da barragem de Mariana – MG, cuja volume foi de mais de 55 milhões de metros cúbicos de rejeito de mineração, caracterizou o maior desastre ambiental do Brasil. O ferro é um dos metais mais utilizados do mundo, sendo extraído da natureza sob a forma de minério. Durante seu processamento, é utilizado o sistema de flotação catiônica reversa, que ocorre em pH alcalino (entre 10 e 10,5). Neste sistema, a precipitação do minério de ferro é promovida pela adição de amido, enquanto a flotação do material restante na ganga (rejeito) é promovida pela adição de aminas. Estas últimas são altamente corrosivas e potencialmente tóxicas aos sistemas biológicos. O rompimento da barragem de rejeitos gerou impactos na qualidade e disponibilidade da água, vegetação ripária, fertilidade e microbiota do solo. Estes impactos foram ocasionados tanto pelo acúmulo de sedimentos, quanto pela sua toxicidez, principalmente devido à presença de aminas, elevando o pH da água e solo. Os impactos sobre a mata ciliar são passíveis de recuperação, desde que sejam utilizadas técnicas adequadas de contenção física e estabelecimento de vegetação que seja simultaneamente tolerante à toxicidez das aminas e capaz de promover a agregação do solo.

O impacto causado pelo rejeito pode ser observado na Figura 2, em imagens via satélite. Nela é possível identificar o material pela coloração roxa em contraste com a azul dos corpos d'água não afetados. Percebe-se que o maior impacto foi em um trecho de 77 km de drenagem, entre Mariana e a Usina Hidrelétrica de Candonga (município de Rio Doce).

*Figura 2- Imagens de satélite das áreas afetadas pelo rejeito. (a) Bacia do Rio Doce; (b) Bacia do córrego Santarém; (c) Bacia do Rio Carmo. Em (b) e (c) percebe-se o caminho dos rejeitos pela coloração roxa em contraste com a azul dos corpos d'água não afetados*



*FONTE: Adaptado de USGS, 2015*

De acordo com as fichas técnicas do principal fornecedor comercial de amina, a empresa Clariant, o produto é altamente corrosivo e potencialmente tóxico, com possibilidade de danos irreversíveis por inalação, em contato com a pele e por ingestão. Além disso, as medidas de controle para derramamento ou vazamento incluem: manter as pessoas afastadas (a fim de evitar inalação) e não permitir que o produto atinja águas superficiais subterrâneas ou de canalização (Clariant, 2009). Desta forma, pode-se ter uma noção dos impactos ambientais causados pelo vazamento do rejeito contendo aminas.

A partir de uma análise técnica feita de três relatórios (IBAMA, 2015; SEMAD, 2015 e EMBRAPA, 2015), foram compilados os seguintes impactos ambientais:

### 3.1 Qualidade e disponibilidade da água

O rejeito vazado pelo rompimento da barragem alterou geomorfologicamente a bacia, impossibilitando a quantificação de material assoreado dentro da calha e na mata ciliar. Porém o assoreamento é visível, como mostrado nas Figuras 3 e 4.

*Figura 3- Material carreado depositado na Usina Hidrelétrica Candonga*



*FONTE: IBAMA, 2015*

*Figura 4- Rio Gualaxo do Norte com leito visível devido ao assoreamento*



*FONTE: IBAMA, 2015*

Outro impacto na hidrologia local foi o acúmulo de sedimentos instáveis nas margens, com ravinamentos profundos, favorecendo intenso processo erosivo e lixiviação, como visto na Figura 5.

*Figura 5- Processo de ravinamento. (a) Margens do Rio Gualaxo do Norte; (b) Margens do Rio do Carmo*



*FONTE: IBAMA, 2015*

Também foi relatado uma drástica perda de biodiversidade de fauna e flora, ainda não quantificada pois é um parâmetro difícil de ser contabilizado.

### 3.2 Impactos no solo e fertilidade

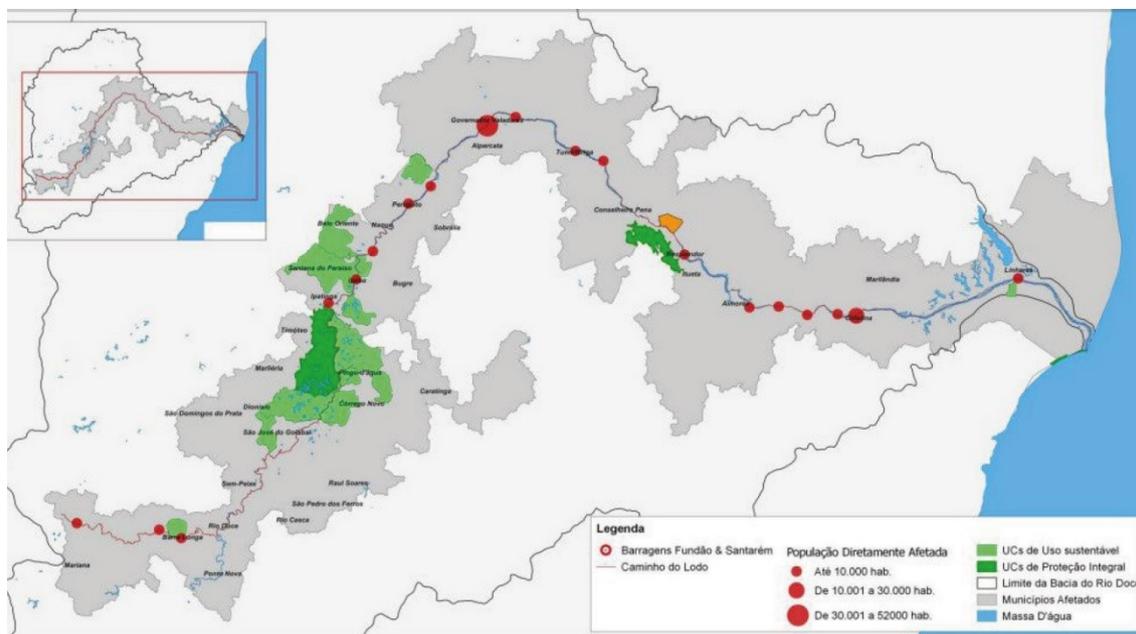
A compactação do material depositado nas margens, associada à baixa porosidade e presença de concentração ferruginosa quando ressecado, evidenciado também na Figura 5, gera uma barreira física resistente ao crescimento radicular vegetal e um ambiente anaeróbico para os micro-organismos. Com o rompimento da barragem também houve um aumento na concentração de ferro, manganês e alumínio, deixando o solo pouco fértil, associado também a ausência de estrutura do solo.

Um estudo realizado pela EMBRAPA (EMBRAPA, 2015) evidenciou uma alteração do pH da mata ciliar de 4,5 para 8,9; prejudicando as atividades celulares de plantas, animais e micro-organismos.

### 3.3 Impactos na vegetação ripária

De acordo com IBAMA (IBAMA, 2015), entre as barragens de Fundão e Santarém até o trecho do Rio Gualaxo do Norte próximo ao Rio do Carmo estima-se perda de 560,35 ha de vegetação, sendo 384,71 ha de mata atlântica. Na área subsequente do Rio Gualaxo do Norte até a foz do rio Doce estima-se perda de 1026,65 ha de vegetação, sendo 126,37 ha de mata atlântica. Totalizando um montante de 1587 ha de vegetação perdida, sendo 511,08 ha de mata atlântica (Figura 6)

Figura 6- Vegetação impactada pelo rompimento da Barragem de Fundão.



FONTE: BBC (Disponível em: <[bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151201\\_dados\\_mariana\\_cc](http://bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151201_dados_mariana_cc)>; acessado em 25/04/2018).

### **3.4 Impactos na microbiota do solo e da água**

Resultados preliminares baseados na quantificação de material genético microbiano mostraram que houve drástica redução da população microbiana nas águas e solos atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão. Provavelmente isto se deve à toxicidade causada pelo pH alcalino, necessário ao funcionamento do sistema de flotação reversa utilizado no beneficiamento do minério. Nestas condições, a população microbiana do solo é consideravelmente reduzida, já que o acúmulo da éter-amina no solo o torna tóxico para o crescimento vegetal e da microbiota.

## **4 Ações Mitigadoras**

Como já apresentado neste estudo, as causas que engatilharam o rompimento da barragem de Fundão vêm de muitos anos, com possíveis culpas pela má execução de projetos e administração. Com esses fatos expostos, fica claro que a melhor ação preventiva é seguir os procedimentos de execução de cada etapa, bem como acompanhar todos e quaisquer sinais que a barragem possa apresentar, principalmente em seus aspectos técnicos.

Os diversos impactos relatados eram quase que inevitáveis, visto a dimensão da área de influência das barragens, mas algumas medidas poderiam ter sido adotadas para que os impactos fossem reduzidos. O nome dado a estas medidas são as Ações Mitigadoras.

### **4.1 Segurança de barragens**

No Brasil, a lei que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) é a Lei 12334:2010. Ela define, considerando-se os impactos desses empreendimentos sobre a população afetada, residentes a montante e a jusante, as responsabilidades dos atores envolvidos, detalhando os papéis do empreendedor e a quem caberá garantir os recursos necessários à segurança de barragens.

Nesse contexto, o empreendedor é o agente privado ou governamental com direito real sobre as terras, onde se localiza a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade. No caso aqui abordado, trata-se da Samarco.

O Artigo 1º define que esta lei se aplica a barragens destinadas à acumulação de água, disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais.

O Artigo 7º, segundo parágrafo, define que a classificação por categoria de Dano Potencial Associado (DPA) à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

O Artigo 17 define que o empreendedor da barragem se obriga a:

- I- Prover os recursos necessários à garantia da segurança da barragem;

- II- Providenciar, para novos empreendimentos, a elaboração do projeto final como construído;
- III- Organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes ao projeto, à construção, à operação, à manutenção, à segurança e, quando couber, à desativação da barragem;
- IV- Informar ao respectivo órgão fiscalizador qualquer alteração que possa acarretar redução da capacidade de descarga da barragem ou que possa comprometer a sua segurança;
- V- Manter serviço especializado em segurança de barragem, conforme estabelecido no Plano de Segurança de Barragem;
- VI- Permitir o acesso irrestrito do órgão fiscalizador e dos órgãos integrantes do Sindec ao local da barragem e à sua documentação de segurança;
- VII- Providenciar a elaboração e a atualização do plano de segurança da barragem, observadas as recomendações das inspeções e as revisões periódicas de segurança;
- VIII- Realizar as inspeções de segurança previstas no art 9º desta lei;
- IX- Elaborar as revisões periódicas de segurança;
- X- Elaborar o Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido;
- XI- Manter registros dos níveis dos reservatórios, com a respectiva correspondência em volume armazenado, bem como das características químicas e físicas do fluido armazenado, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;
- XII- Manter registros dos níveis de contaminação do solo e do lençol freático na área de influência do reservatório, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;
- XIII- Cadastrar e manter atualizadas as informações relativas à barragem no SNISB.

#### 4.1.1 Dano Potencial Associado (DPA)

De acordo com a resolução CNRH 143:2012 da PNSB (PNSB, 2012), Dano Potencial Associado, ou DPA, é o dano que pode ocorrer devido ao rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais.

Ainda de acordo com o PNSB, o Dano Potencial Associado pode ser classificado em três categorias:

*Tabela 1- Faixas de classificação de DPA*

DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA
ALTO	$\geq 13$
MÉDIO	$7 < DPA < 13$
BAIXO	$\leq 7$

*FONTE: Autor, 2018 (Adaptado do PNSB, 2018)*

O critério para a classificação do DPA segue os seguintes aspectos:

- a) Volume total do reservatório, incluindo todas as barragens em indústrias e minerações;
- b) Existência de população a jusante;
- c) Impacto ambiental;
- d) Impacto socioeconômico.

Para cada um dos itens citados, de acordo com os dados da barragem em estudo, é atribuído uma pontuação que varia de 0 a 10. A soma das pontuações de cada item é o valor que define a faixa de classificação do Dano Potencial Associado. Os valores da matriz de pontuação de DPA estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2- Matriz de classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (Resíduos e rejeitos)

Volume Total do Reservatório (todas as barragens em indústrias e minerações) (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto sócio-econômico (d)
Muito Pequeno < = 500.000m <sup>2</sup> (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área a jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (Quando a área a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes , segundo a NBR 10.004/2004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (quando não existem quaisquer instalações na área a jusante da barragem) (0)
Pequeno 0,5 a 5hm <sup>2</sup> (2)	POUCO FREQUENTE (Significa que não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local. (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (quando a área a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica (excluídas APPs) e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes , segundo a NBR 10.004/2004 da ABNT) (2)	BAIXA CONCENTRAÇÃO (Quando existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área a jusante da barragem) (1)
Médio 5 a 25hm <sup>2</sup> (3)	FREQUENTE (Significa que não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas. (5)	SIGNIFICATIVO (quando a área a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica (excluídas APPs) e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes , segundo a NBR 10.004/2004 da ABNT) (6)	MÉDIA CONCENTRAÇÃO (Quando existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área a jusante da barragem) (3)
Grande 25 a 50hm <sup>2</sup> (4)	EXISTENTE (Significa que existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas. (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A - Não Inertes, segundo a NBR 10004/2004) (8)	ALTA CONCENTRAÇÃO (Quando existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área a jusante da barragem) (5)
Muito Grande > = 50hm <sup>2</sup> (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (quando a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I Perigosos segundo a NBR 10004/2004) (10)	-

FONTE: PNSB, 2018

Para a barragem de Fundão, com base nos parâmetros apresentados na Tabela 2, teríamos a seguinte classificação:

- a) Quanto ao volume total do reservatório:

O conjunto de barragens estudadas compreende um volume total de 55 hm<sup>3</sup>. Fazendo com que um Dano Potencial Associado ao volume total do reservatório chamado pelo PNSH de grande. Atribuindo-se então o valor de 5 pontos neste item.

b) Quanto à existência de população a jusante:

Existem ocupações permanentes a área de jusante, tanto é que no acidente tivemos um total de 18 mortes segundo o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG). Logo, é considerado que havia um Dano Potencial Associado a existência de população a jusante existente. Atribui-se 10 pontos neste item.

c) Quanto ao impacto ambiental:

O armazenamento de rejeitos e resíduos sólidos classificados como Classe II A – não inertes de segundo a ABNT NBR 10024:2004, como a amina, faz com que neste quesito a barragem seja classificada com Dano Potencial Associado ao impacto ambiental muito significativo. Portanto, é atribuído 8 pontos neste quesito.

d) Quanto ao impacto socioeconômico:

Como já apresentado, a área a jusante da barragem de Fundão conta com o município de Bento Rodrigues, e o rompimento teve impacto direto na atividade pesqueira e turística em toda a região, segundo o *site* G1.com.br. Logo, é considerado que havia um Dano Potencial Associado ao impacto socioeconômico de alta concentração, atribuindo-se mais 8 pontos para a faixa de classificação.

Portanto, com os dados obtidos pode-se fazer uma estimativa do Dano Potencial Associado da Barragem de Fundão, apresentado na Tabela 3.

Tabela 3- Resumo do DPA da barragem de Fundão

	DPA	Pontuação
Volume total do reservatório (todas as barragens em indústrias e minerações) (a)	GRANDE	5
Existência de população a jusante (b)	EXISTENTE	10
Impacto ambiental (c)	MUITO SIGNIFICANTE	8
Impacto socioeconômico (d)	ALTA CONCENTRAÇÃO	5
	<b>TOTAL</b>	<b>28</b>

FONTE: Autor, 2018

Por fim, temos uma soma de Dano Potencial Associado (DPA) de 28 pontos para a Barragem de Fundão. O que significa que o conjunto em questão tem um **DPA Alto**.

#### 4.1.2 Categoria de risco

Também de acordo com a CNRH 143:2012 da PNSB (PNSB, 2012), quanto a categoria de risco, as barragens serão classificadas de acordo com aspectos da própria barragem que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta os seguintes critérios gerais:

- Características Técnicas (CT);
- Estado de Conservação (EC);
- Plano de segurança de barragens (OS).

Analogamente ao DPA, as faixas de classificação também são três, e são definidas da seguinte forma:

*Tabela 4- Faixas de classificação quanto ao CRI*

CATEGORIA DE RISCO	CRI
ALTO	$\geq 60$ ou $EC=10$
MÉDIO	$35 < CRI < 60$
BAIXO	$\leq 35$

*FONTE: Autor, 2018 (Adaptado do PNSB, 2018)*

O critério para a classificação do CRI segue os seguintes aspectos:

- a) Altura;
- b) Comprimento de Crista;
- c) Vazão de Projeto;
- d) Confiabilidade das estruturas extravasoras (barragens de rejeitos e resíduos);
- e) Percolação;
- f) Deformações e recalques;
- g) Deterioração dos taludes / Paramentos;
- h) Documentação de projeto;
- i) Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais na equipe de segurança de barragem;
- j) Manuais de procedimentos para inspeções de segurança e monitoramento;
- l) PAE – Plano de Ação Emergencial (quando exigido pelo órgão fiscalizador)
- m) Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança.

Semelhante ao cálculo do DPA, para cada um dos itens citados, de acordo com os dados da barragem em estudo, é atribuído uma pontuação que varia de 0 a 10. A soma das pontuações de cada item é o valor que define a faixa de classificação da Categoria de Risco. Os valores da matriz de pontuação de CRI estão expressos nas Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5- Matriz de classificação quanto à categoria de risco - Características Técnicas

Altura (a)	Comprimento de Crista (b)	Vazão de Projeto (c)
Altura $\leq$ 15m (0)	Comprimento $\leq$ 50m (0)	Decamilenar ou CMP (Cheia Máxima Provável) (0)
15m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)
30m $\leq$ Altura $\leq$ 60m (4)	200 $\leq$ Comprimento $\leq$ 600m (2)	500 anos (5)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	Inferior a 500 anos ou Desconhecida/Estudo não confiável (10)

FONTE: PNSB, 2018

Tabela 6- Matriz de classificação quanto à categoria de risco - Estado de conservação

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras Barragens de rejeitos e resíduos (d)	Percolação (e)	Deformações e Recalques (f)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (g)
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal /Barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva. (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias . (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. (10)	Trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. (10)

FONTE: PNSB, 2018

Tabela 7- Matriz de classificação quanto à categoria de risco - Plano de segurança da barragem

Documentação de Projeto (h)	Estrutura Organizacional e Qualificação Técnica dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (i)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (j)	PAE - Plano de Ação Emergencial (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (l)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (m)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emitte regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação, e de Análise de Segurança (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emitte regularmente APENAS relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto básico (5)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emitte regularmente APENAS relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto conceitual (8)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emitte regularmente APENAS relatórios de inspeção visual (6)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento, e de Análise de Segurança (8)

FONTE: PNSB, 2018

A investigação feita pelo escritório de advocacia norte-americano *Cleary Gottlieb Steen & Hamilton LLP* acerca do caso, que está em posse da Samarco, não foi divulgado pela mesma. Portanto, os dados necessários para a classificação da barragem em estudo estão inacessíveis.

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2018), a barragem de Fundão, de propriedade da Samarco, é classificada com CRI baixo.

## 4.2 Plano de Ação de Emergência (PAE)

O Plano de Ação de Emergência (PAE) é um documento obrigatório em barragens de DPA alto de acordo com a Lei nº12334:2010, que estabelece a PNSB. É de responsabilidade do empreendedor, no caso estudado da Samarco, elaborar e atualizar o PAE anualmente, sendo incluídas as novas informações e removidos os dados desatualizados e/ou incorretos. As folhas corrigidas deverão ser anotadas adequadamente em seu rodapé e suas cópias distribuídas para todas as entidades que participem do PAE e tenham em seu poder uma cópia para uso.

No PAE deve haver uma lista de pessoas e entidades a serem notificadas em caso de emergência e uma descrição dos sistemas de alerta que serão utilizados no caso de emergência (CARDIA et al., 2015).

Ainda de acordo com o PNSB, cada situação deve ser classificada de acordo com um diferente nível de resposta, conforme quadro abaixo.

Tabela 8- Níveis de resposta por situação - PAE

NÍVEL DE RESPOSTA	SITUAÇÃO
<b>VERDE</b>	Situações de incidente declarado ou previsível, com as seguintes características: i) serem estáveis ou que se desenvolvam muito lentamente no tempo; ii) poderem ser controladas pelo Empreendedor; iii) poderem ser ultrapassadas sem consequências nocivas no vale a jusante.
<b>AMARELO</b>	Situações que impõem um estado de atenção na barragem e/ou no vale a jusante, inclusive no caso em que a magnitude da vazão afluente ao reservatório exija a liberação de vazão efluente superior às condições de restrição a jusante (cotas ou vazões limites impostas para evitar inundação de habitações ou infraestruturas importantes). As características principais são: i) a situação tende a progredir lentamente, permitindo a realização de estudos para apoio à tomada de decisão; ii) existe a convicção de ser possível controlar a situação, embora o coordenador do PAE possa vir a necessitar de assistência especial de entidades externas; iii) existe a possibilidade de a situação se agravar e de se desenvolverem efeitos perigosos no vale a jusante sobre pessoas e bens.
<b>LARANJA</b>	Situações que impõem um estado de alerta geram na barragem. As características principais deste nível de resposta são as seguintes: i) a situação tende a progredir rapidamente, podendo não existir tempo disponível para a realização de estudos para apoio à tomada de decisão; ii) admite-se não ser possível controlar o acidente, tornando-se indispensável a intervenção de entidades externas; iii) existe a possibilidade de a situação se agravar com a ocorrência de consequências muito graves no vale a jusante.
<b>VERMELHO</b>	Situação de catástrofe inevitável, incluindo o início da ruptura da barragem.

FONTE: Autor, 2018 (Adaptado do PNSB, 2018)

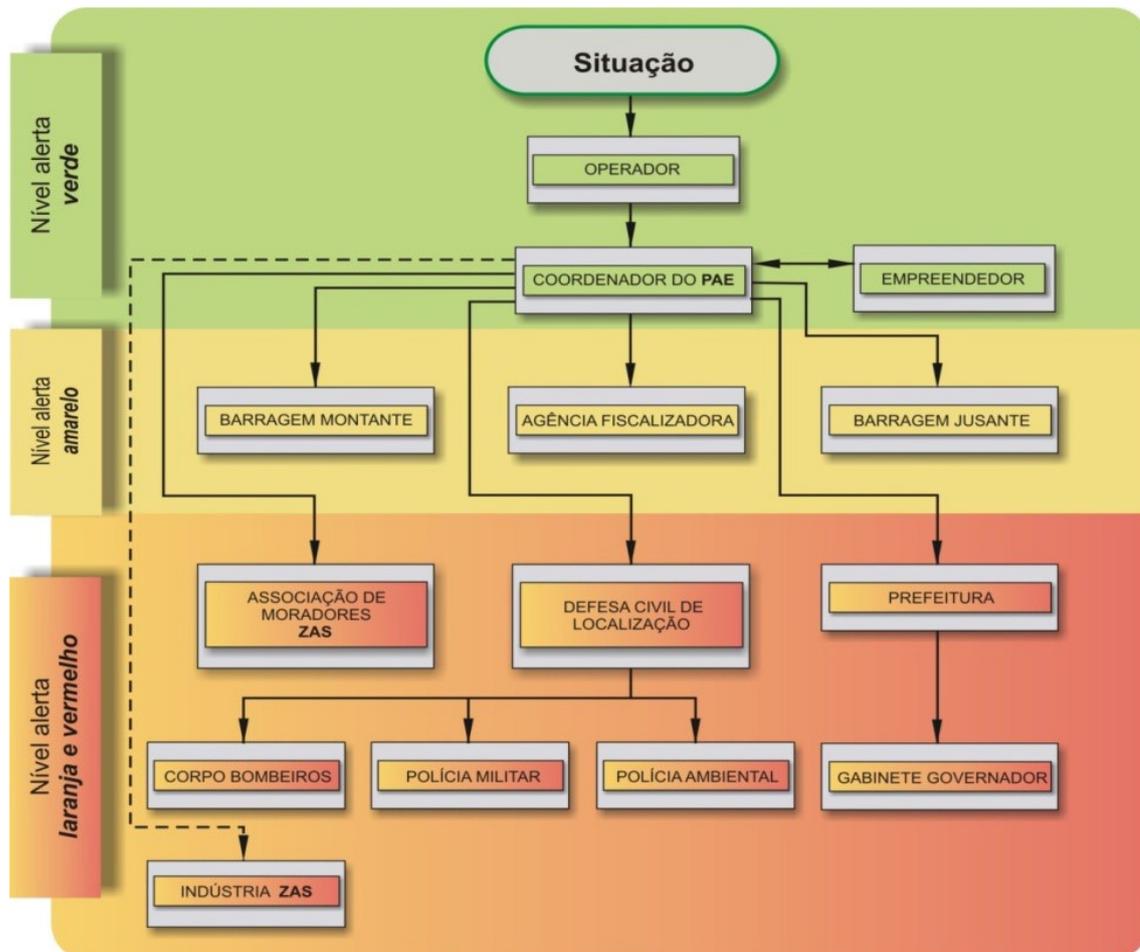
A PNSB também estabelece uma lista de ações esperadas, de acordo com cada nível de resposta. São eles:

- Nível Verde:
  - Monitorar a situação, registrando todas as ações adotadas na resolução do problema;
  - Implementar medidas preventivas e corretivas;
  - Notificar os recursos humanos da barragem e o Empreendedor.

- **Nível Amarelo:**
  - Notificar os recursos humanos na barragem e eventualmente monitorar a situação com base em vigilância permanente (24 h/dia), nomeadamente mantendo-se atualizado sobre a evolução das condições meteorológicas e hidrológicas e, se necessário, pedindo previsões especiais de precipitações e ventos, por exemplo, ao Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), ao Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
  - Verificar a operacionalidade dos meios e registrar todas as ocorrências e procedimentos;
  - Implementar as medidas preventivas e corretivas, incluindo trabalhos de reabilitação (reparação e reforço), no sentido de tentar minimizar as consequências do incidente ou de corrigir deteriorações na barragem;
  - Notificar o Empreendedor, a Entidade Fiscalizadora e os responsáveis pelos Serviços de Defesa Civil;
  - Acionar o sistema de alerta à população da ocorrência de descargas, caso estas estejam previstas.
  
- **Nível Laranja:**
  - As mesmas ações esperadas do Nível Amarelo e acionar o sinal de alerta à população na zona de autossalvamento para entrar em estado de “prontidão” para eventual evacuação.
  
- **Nível Vermelho:**
  - Neste nível a ruptura já é visível ou constituiu uma realidade a curto prazo. A principal ação do Coordenador do PAE é, neste nível, o acionamento do sistema de alerta à população na ZAS com vista à sua evacuação. Deverão também ser desencadeadas as ações previstas no nível anterior, ou seja, monitorizar a situação, implementar medidas de mitigação, notificar entidades e registrar todas as ocorrências e procedimentos.

O PAE exige ainda um fluxograma de notificações que deve ser iniciado logo que o nível 3 (alerta) inicie, e dar continuidade nas notificações, caso a situação não seja controlada e avance para o nível 4 (emergência), conforme o fluxograma da Figura 7.

Figura 7- Fluxograma de notificações



FONTE: PNSB, 2018

O fluxograma ilustra qual deve ser a ordem de notificação a ser seguida pelo coordenador do Plano de Ação Emergencial (PAE) juntamente com a equipe de notificação, em caso de alerta ou emergência.

A população a jusante deve ser notificada caso a barragem esteja com risco de ruptura nível 3 (alerta) e nível 4 (emergência). O empreendedor é responsável por notificar a Zona de Auto Salvamento (ZAS), ou seja, área imediatamente a jusante da 77 barragem, através de um método eficaz, seja por sirene, rádio, internet, telefonemas, megafones ou cartazes. O método escolhido deve funcionar em situações extremas de emergência, inclusive falta de energia elétrica e deve estar localizado fora da zona inundável, mas próximo da área a jusante da barragem (ANPC; INAG, 2009).

## 5 Conclusão

Como visto no estudo feito, a Samarco se mostra integralmente responsável pelo acidente, uma vez que a barragem demonstrou diversos sinais de que reparos, e que necessitavam ser realizados, e que segundo os laudos apresentados foram ignorados.

Os dados apresentados neste relatório de caso apontam para as mudanças radicais operadas nos distritos e populações atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana – MG. Todas as áreas atingidas tinham seu cotidiano fortemente influenciados pelo contato com as águas do Rio Doce. Nos ciclos lunares das marés ou nos ciclos anuais das cheias, as águas traziam os peixes, a fertilidade da terra, e as ondas que tornaram a região famosa antes da lama da Samarco. Neste sentido, a privação dos meios de trabalho, do peixe para alimentação, do rio e do mar enquanto forma de lazer na foz do Rio Doce são algumas das alterações radicais no cotidiano vivido por aquelas pessoas que tinham nos recursos provenientes do rio e do oceano, as formas de sustentarem suas vidas e a sua permanência na região da foz.

Em uma outra etapa, foi feita uma classificação da barragem de Mariana quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) e a Categoria de Risco (CRI). O levantamento foi crucial para reafirmar o quão prejudicial foi o acidente, uma vez que as conclusões atingidas foram que a barragem possuía um DPA alto, e uma CRI alta também.

Com base nas classificações elaboradas, e conforme o PNSB, uma barragem com alto DPA e CRI deve conter um Plano de Ação de Emergência (PAE), que conta com um conjunto de medidas que devem ser tomadas sequencialmente, de acordo com a situação atual da barragem. No caso da barragem de Fundão, o PAE foi falho, caso contrário os danos poderiam ter sido minimizados pelo sistema correto de ações.

## Referências

- ANM. (2018). Agência Nacional de Mineração. Classificação de barragens. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao-dentro-da-pnsb>. Acesso em 25 jun. 2018.
- ANPC; INAG. Guia para orientação para elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens. Carnaxide, Portugal. ANPC, 2009. (Cadernos Técnicos PROCIV #5). Disponível em: <http://www.prociv.pt/cadernos/5.pdf>. Acesso em 13 mai. 2018.
- CARDIA, R. J. R.; ROCHA, H. L.; LARA, P.G. Contribuição ao conhecimento sobre o plano de emergência – PAE. Foz do Iguaçu. CBDB, 2015. 13p.
- CBCD. (2001). Comitê Brasileiro de Barragens. Elaboração de um Plano de Ação Emergencial.
- CBMMG (2016). Apresentação da conclusão do inquérito referente ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana/MG, 68p.
- Clariant. (2016). Disponível em [http://www.clariant.in/C12575E4001FB2B8/wwLookupDownloads/Iron%20Ore.pdf/\\$FILE/Iron%20Ore.pdf](http://www.clariant.in/C12575E4001FB2B8/wwLookupDownloads/Iron%20Ore.pdf/$FILE/Iron%20Ore.pdf), acessado em 15/04/2018.
- EMBRAPA. (2015). Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG. Apoio ao plano de recuperação agropecuária. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Dezembro de 2015.
- Governo de Minas Gerais (2016). Relatório dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana, Minas Gerais, 287 p.
- IBAMA. (2015). Laudo técnico preliminar impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Novembro de 2015.
- NBR 10024/2004 – Chapa dura de fibra de madeira – requisitos e métodos de ensaio, 11p.
- PICCOLO, I.R. **Estudos de Casos de Cuidados com o Meio Ambiente na Indústria Farmacêutica**. Publicado na revista FÁRMACOS & MEDICAMENTOS 29 (Julho/Agosto 2004). Disponível em: <https://www.racine.com.br/portal-racine/meio-ambiente/setor-industrial/estudos-de-casos-de-cuidados-com-o-meio-ambiente-na-industria-farmaceutica-dp1>
- POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS. Lei nº12.334 de 20 de setembro de 2010.
- Samarco. (2013). Relatório Anual de Sustentabilidade, 57 p.
- Samarco. (2018). Disponível em <http://www.samarco.com>, acessado em 10/04/2018.
- SEMAD. (2015). Instituto Estadual de Florestas. Monitoramento da cobertura vegetal na área do rompimento das barragens da Samarco, Município de Mariana, Distrito de Bento Rodrigues, Minas Gerais. Dezembro de 2015.