



RELATÓRIO DE ANÁLISE DE ACIDENTE
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS FUNDÃO
EM MARIANA - MG

ABRIL 2016

Three handwritten signatures in blue ink are located at the bottom right of the page. The signatures are stylized and appear to be initials or names of individuals involved in the report.



Sumário

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 2 | OBJETIVO..... | 9 |
| 2.1 | Fontes de informações e recursos utilizados..... | 9 |
| 2.2 | Equipe de Fiscalização de Segurança e Saúde no Trabalho..... | 10 |
| 3 | DADOS DO ACIDENTE..... | 10 |
| 3.1 | Informações gerais..... | 10 |
| 3.2 | Descrição sumária..... | 11 |
| 4 | A EMPRESA..... | 12 |
| 4.1 | Informações Gerais..... | 12 |
| 4.2 | Empresas terceirizadas que prestavam serviços na BRF..... | 13 |
| 5 | BARRAGENS DE REJEITOS..... | 13 |
| 5.1 | Barragem – Definição..... | 13 |
| 5.2 | Classificação de Barragens..... | 14 |
| 5.3 | Instrumentação de auscultação..... | 15 |
| 5.4 | Alteamento..... | 17 |
| 5.4.1 | Alteamento a montante..... | 17 |
| 5.4.2 | Alteamento a jusante..... | 18 |
| 5.4.3 | Alteamento por linha de centro..... | 19 |
| 6 | A BARRAGEM DE REJEITOS DO FUNDÃO..... | 20 |
| 6.1 | Informações técnicas..... | 21 |
| 6.2 | Localização da Barragem de Fundão..... | 21 |
| 6.3 | Principais Partes..... | 22 |
| 6.4 | Classificação..... | 23 |
| 6.5 | Projeto..... | 24 |
| 6.5.1 | Projetado x Executado..... | 24 |
| 6.5.2 | A mudança de eixo da BRF..... | 32 |
| 6.5.3 | Drenagem da PDE União da Mina de Fábrica Nova da Vale SA..... | 36 |
| 6.5.4 | Sistema de Drenagem..... | 38 |



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| | | |
|--------|---|-----|
| 6.6 | Construção | 42 |
| 6.6.1 | Método de Alçamento Escolhido..... | 42 |
| 6.7 | Operação e Manutenção..... | 44 |
| 6.7.1 | Instrumentação de auscultação na Barragem de Fundão | 44 |
| 6.7.2 | Monitoramento do nível d'água por meio de instrumentos | 46 |
| 6.7.3 | Manutenção da estrutura da BRF | 53 |
| 6.7.4 | Manutenção dos instrumentos de monitoramento do nível d'água..... | 65 |
| 6.7.5 | Praia de rejeitos..... | 66 |
| 6.7.6 | Surgências..... | 70 |
| 6.7.7 | Trincas..... | 71 |
| 6.7.8 | Alçamentos..... | 75 |
| 6.7.9 | Vibrações e Liquefação | 76 |
| 6.7.10 | Fator de Segurança da Estabilidade | 83 |
| 7 | INFORMAÇÕES SISMOLÓGICAS | 87 |
| 7.1 | Principais conceitos | 87 |
| 7.2 | Sismos induzidos | 88 |
| 7.3 | Sismo Máximo de Projeto | 89 |
| 7.4 | Histórico Sismológico na região de Mariana | 90 |
| 7.5 | Sismos ocorridos na região da BRF no dia do rompimento da barragem..... | 92 |
| 7.6 | Considerações sobre os fatos..... | 93 |
| 8 | Informações relativas à legislação de SST..... | 95 |
| 8.1 | NR4 - Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho95 | |
| 8.2 | NR5 – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes..... | 95 |
| 8.3 | NR22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração | 96 |
| 8.3.1 | Depósito de rejeitos | 96 |
| 8.3.2 | PGR – Programa de Gerenciamento de Riscos..... | 96 |
| 8.3.3 | Anexo de Levantamento de poeiras minerais | 97 |
| 8.3.4 | Anexo de Levantamento de Riscos Ambientais: Fumos metálicos..... | 99 |
| 8.3.5 | Anexo de Levantamento de ruído | 99 |
| 8.3.6 | Anexo: Programa de Proteção Respiratória - PPR | 100 |
| 8.3.7 | Programa de Conservação Auditiva – PCA | 100 |



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| | | |
|--------|---|-----|
| 8.3.8 | Ergonomia | 101 |
| 8.4 | Plano de Ação Emergencial..... | 101 |
| 9 | Relatórios Anuais de Lavra (RAL)..... | 102 |
| 10 | TREINAMENTOS | 103 |
| 11 | FISCALIZAÇÕES E ANÁLISES DE TERCEIROS..... | 105 |
| 11.1 | Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM..... | 105 |
| 11.2 | Instituto Pristino | 108 |
| 11.2.1 | Recomendações..... | 108 |
| 11.2.2 | Sobreposição de áreas diretamente afetadas da BRFe da PDE..... | 109 |
| 11.3 | Independent Tailings Review Board – ITRB..... | 110 |
| 12 | LINHA DO TEMPO – HISTÓRICO DA BRF..... | 111 |
| 13 | CONCLUSÃO | 114 |
| 13.1 | Dispositivos de monitoramento ausentes por supressão e/ou inoperantes . | 115 |
| 13.2 | Dispositivo de monitoramento inexistente | 116 |
| 13.3 | Não cumprimento de programa de manutenção | 116 |
| 13.4 | Adiamento de neutralização / eliminação de risco conhecido | 117 |
| 13.5 | Falta de critérios para correção de inconformidades..... | 118 |
| 13.6 | Ausência de projeto | 119 |
| 13.7 | Falta de manutenção preventiva..... | 121 |
| 14 | ANEXOS..... | 122 |
| | ANEXO 1 – AUTOS DE INFRAÇÃO | 122 |
| | ANEXO 2 – GLOSSÁRIO | 124 |
| | ANEXO 3 – DEPOIMENTO TRABALHADOR – ROMEU ARLINDO DOS SANTOS . | 134 |
| | ANEXO 4 – FONTES E REFERÊNCIAS..... | 136 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Método de alteamento a montante | 18 |
| Figura 2- Método de alteamento a jusante | 19 |
| Figura 3 - Método de alteamento por linha de centro | 19 |
| Figura 4 - Localização da Barragem de Fundão (Manual de Operação 2012)..... | 21 |
| Figura 5 - Visão geral da Barragem de Fundão (Manual de Operação 2012)..... | 22 |
| Figura 6 - Construção da Fundação da BRF I..... | 26 |
| Figura 7 - Construção da Fundação da BRF II | 27 |
| Figura 8 - Construção do Dique 1 | 28 |
| Figura 9 - Vista módulo no. 24 Galeria Principal..... | 29 |
| Figura 10 - Infiltração de água no teto da galeria, através da junta nº 42 | 30 |
| Figura 11 - Cone de sucção - <i>sinkhole</i> - na região do recuo da BRF..... | 31 |
| Figura 12 - Planta do projeto original da BRF, em 2007 | 32 |
| Figura 13 - Projeto da BRF – Pimenta de Ávila Consultoria Ltda, em 20/06/2011 | 33 |
| Figura 14 - Detalhe do projeto da BRF..... | 34 |
| Figura 15 - Vista do desvio no eixo do Dique 1 BRF em 2012..... | 35 |
| Figura 16 - Vista da BRF e da grota junto à PDE União em 2013..... | 37 |
| Figura 17 - Vista da BRF e da grota junto à PDE União em 2014..... | 37 |
| Figura 18 - Planta geral do Dique 1, com destaque para o tapete drenante..... | 39 |
| Figura 19 - Seção transversal típica do Dique 1 | 40 |
| Figura 20 - Diques de contenção de uma barragem alteada a montante..... | 42 |
| Figura 21 - Vista em planta dos piezômetros e indicadores de nível d'água instalados na BRF / 2015 | 46 |
| Figura 22 - Piezômetros e os indicadores de nível d'água instalados no eixo deslocado da BRF | 51 |
| Figura 23 - Indicador de Nível d'água 16LI017 - Aterro Seção 2 - ABR/2014 a OUT/2015.... | 52 |
| Figura 24 - Piezômetro 16PI014 - Aterro Seção 03 - ABR/2014 a OUT/2015..... | 52 |
| Figura 25 - Piezômetro 16PI008, instalado na ombreira - ABR/2014 A OUT/2015 | 53 |
| Figura 26 - Erosões em taludes I | 54 |
| Figura 27 - Erosões em taludes II | 54 |
| Figura 28 - Falta de interligação na tubulação coletora..... | 55 |
| Figura 29 – Acúmulo de água na berma El. 820m | 55 |
| Figura 30 - Talude com necessidade de revegetação | 56 |
| Figura 31 - Tentativa de correção da irregularidade - surgência..... | 57 |
| Figura 32 - Erosões em talude..... | 57 |
| Figura 33 - Trincas nas canaletas de drenagem..... | 58 |
| Figura 34 - Ausência de canaleta em berma..... | 58 |
| Figura 35 - Obstrução na bacia de dissipação..... | 59 |
| Figura 36- Falta de revegetação em talude..... | 60 |
| Figura 37 - Tentativa de tratamento da surgência na ombreira direita..... | 60 |



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| | |
|--|-----|
| Figura 38 - Erosões em taludes..... | 61 |
| Figura 39 - Irregularidade na declividade transversal e longitudinal de berma..... | 61 |
| Figura 40 – Canaletas de drenagem quebradas..... | 62 |
| Figura 41 - Berma sem canaletas de drenagem..... | 62 |
| Figura 42 - Acúmulo de água no pé do talude | 63 |
| Figura 43 - Saturação do talude | 63 |
| Figura 44 - Erosão na ombreira direita | 64 |
| Figura 45 - Posicionamento do nível freático em função das características do projeto (NIEBLE, 1986, apud SOARES, 1998). | 68 |
| Figura 46 - Método de alteamento a montante com possíveis colapsos | 69 |
| Figura 47 - Perfil longitudinal esquemático da variação da permeabilidade horizontal (kh) ao longo das praias de rejeitos..... | 70 |
| Figura 48 - Surgência com pressão observada no pé jusante da BRF..... | 71 |
| Figura 49 - Trincas observadas em 27/08/2014 em destaque | 72 |
| Figura 50 - Trinca na crista do talude | 72 |
| Figura 51 - Trincas na face do talude cota 885..... | 73 |
| Figura 52 - Trinca na berma 880, atingindo 7cm | 73 |
| Figura 53 - Trincas e saturação no platô El. 863 | 74 |
| Figura 54 - Trincas e saturações no platô El. 863 | 74 |
| Figura 55 - Obras de drenagem projetadas pela empresa VOGBR..... | 78 |
| Figura 56 - Obra de drenagem na ombreira esquerda - Região do recuo da BRF - Início das atividades do ATO executado por VOGBR - 29/06/2015 | 79 |
| Figura 57 - Obra de drenagem na ombreira esquerda, região do recuo da BRF - Término das atividades do ATO executado por VOGBR, 28/08/2015..... | 79 |
| Figura 58 - Epicentros do catálogo de sismos do Brasil..... | 91 |
| Figura 59 - Epicentro do sismo principal às 14:13:51h na área da Samarco..... | 93 |
| Figura 60 - Sobreposição de áreas diretamente afetadas da BRF..... | 109 |
| Figura 61 - Bermas..... | 124 |
| Figura 62 – Piping Fonte: Azevedo, M Penha. Barragens de Terra – Sistemas de Drenagem Interna | 128 |
| Figura 63 - Taludes..... | 131 |
| Figura 64 - Diagrama esquemático da seção transversal de barragem de terra..... | 132 |
| Figura 65 - Extravasor tipo tulipa interligada à galeria de fundo | 133 |



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Vítimas fatais | 11 |
| Tabela 2 - Composição societária | 12 |
| Tabela 3 - Lista não exaustiva de empresas terceirizadas | 13 |
| Tabela 4 - Parâmetros para classificação de barragens | 15 |
| Tabela 5 - Informações técnicas da BRF | 21 |
| Tabela 6 - Valores dos parâmetros para classificação da BRF | 23 |
| Tabela 7 - Enquadramento da BRF na classificação de barragens | 23 |
| Tabela 8 - Leituras dos instrumentos de monitoramento do nível de água MAI/15 a OUT/15 | 48 |
| Tabela 9 - Parâmetros utilizados pela VOGBR para cálculo | 85 |
| Tabela 10 - Parâmetros dos materiais utilizados pela VOGBR | 85 |
| Tabela 11 - Parâmetros dos materiais - Cálculo do fator de Segurança | 86 |
| Tabela 12 - Terremotos registrados pela Rede Sismográfica Brasileira | 90 |
| Tabela 13 - Sismos registrados pela Rede Sismográfica Brasileira | 92 |
| Tabela 14 - Concentrações para Sílica | 98 |
| Tabela 15 - Exposição a ruído excessivo por GHE | 100 |
| Tabela 16 - Resumo das informações dos Relatórios Anuais de Lavra | 103 |
| Tabela 17 - Quantidade de empregados não submetidos a treinamento | 104 |
| Tabela 18 - Linha do tempo da BRF | 111 |



RELATÓRIO DE ANÁLISE DE ACIDENTE

ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA MG

1 INTRODUÇÃO

No dia 5/11/2015, aproximadamente às 15:45h, a Barragem de Rejeitos de Fundão (BRF) pertencente à SAMARCO MINERAÇÃO S/A, localizada no município de Mariana-MG, rompeu provocando a liberação de mais de 34Mm³ (trinta e quatro milhões de metros cúbicos) de rejeitos. No dia do rompimento, mais de 600 (seiscentas) pessoas, dentre empregados e terceirizados trabalharam no local. Treze trabalhadores faleceram. Doze trabalhadores tiveram como causa da morte asfixia por soterramento, afogamento e/ou politraumatismo. Um trabalhador morreu em decorrência de mal súbito, logo após o rompimento da barragem. Todos trabalhadores falecidos eram terceirizados. Há um empregado da Samarco desaparecido, cujo óbito ainda não foi oficialmente declarado.

A lama de rejeitos que se espalhou pelo vale do Córrego do Fundão galgou a Barragem de Santarém e alcançou o distrito de Bento Rodrigues, matando cinco moradores, sendo atingidos mais de 600 km de cursos d'água e comprometidos quase 1600ha de vegetação. A lama, que aumentou a turbidez da água, provocou a morte de milhares de peixes e outros animais e, segundo o IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - das 80 espécies de peixes nativas, 11 são classificadas como ameaçadas de extinção e 12 existiam apenas nos rios que foram atingidos. Em duas semanas a lama percorreu toda a extensão do Rio Doce até desaguar em sua foz no município de Linhares, no Espírito Santo.

Cerca de 200 edificações foram soterradas apenas no distrito de Bento Rodrigues, situado aproximadamente 5 km a jusante da barragem, e que foi a comunidade mais atingida, com mais de 600 famílias desabrigadas¹. O fornecimento de água para os moradores de cidades abastecidas pelos rios da região, como Governador Valadares, município com cerca de 276

¹ <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/12/entenda-o-acidente-de-mariana-e-suas-consequencias-para-o-meio-ambiente>



mil habitantes², teve que ser temporariamente interrompido e só foi retomado dias depois. O prejuízo apenas com danos em infraestrutura no município de Mariana, segundo a prefeitura, foi da ordem de R\$100 milhões³. Os diques erguidos para contenção da lama são ainda insuficientes e, cinco meses depois da tragédia, a lama continua poluindo os cursos de água a jusante⁴.

Veremos que o rompimento da BRF foi um evento multicausal, resultado da interação de uma série de fatores de natureza variada que vão desde a alteração de premissas de projeto sem a realização dos cálculos correspondentes, desconsideração de irregularidades apontadas em relatórios de auditorias internas e externas até falhas graves na construção, manutenção e operação do reservatório.

2 OBJETIVO

O objetivo deste relatório é identificar os fatores causais que podem ter levado ao rompimento da BRF e, a partir daí, fornecer subsídios para ações de prevenção de eventos desta natureza e ações de outros órgãos em suas respectivas esferas, bem como de trabalhadores e terceiros atingidos.

2.1 Fontes de informações e recursos utilizados

A análise do acidente foi realizada durante os meses de novembro de 2015 a abril de 2016. Foram entrevistados gerentes responsáveis pelas áreas de segurança do trabalho, de projeto e de operação da barragem; trabalhadores que estavam no local no momento do ocorrido; engenheiro projetista responsável pelo projeto original da barragem (Pimenta de Ávila Consultoria LTDA) e técnicos da empresa responsável por laudos de monitoramento e

² IBGE/2014

³ <http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/11/11/prejuizo-causado-por-ruptura-de-barragens-e-de-r-100-mi-estima-prefeitura.htm>

⁴ http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2016/03/30/interna_gerais,748386/diques-para-conter-lama-da-samarco-sao-insuficientes-e-rejeito-segue-p.shtml



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

segurança da barragem (VOGBR Recursos Hídricos e Geotecnia LTDA). Foram realizadas inspeções na área da barragem para avaliação da magnitude do desastre e compreensão da dinâmica do rompimento e das medidas mitigadoras adotadas imediatamente após o evento. Todos os depoimentos foram tomados na SRTE-MG – Superintendência Regional do Trabalho e Emprego em Minas Gerais.

Foi também analisado volumoso acervo de documentos e arquivos eletrônicos sobre vários aspectos do projeto, construção, operação e monitoramento da barragem fornecidos pelas empresas Samarco, Pimenta de Ávila e VOGBR. Também foi pesquisado extenso material bibliográfico citado no decorrer deste relatório.

2.2 Equipe de Fiscalização de Segurança e Saúde no Trabalho

A equipe de fiscalização responsável pela elaboração deste relatório é composta pelos seguintes Auditores Fiscais do Trabalho:

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Marcos Ribeiro Botelho | CIF 35050-8 |
| Mário Parreiras de Faria | CIF 40009-8 |
| Cristiano da Silva Rodrigues Garcia | CIF 35040-0 |
| Mara Queiroga Camisassa de Assis | CIF 35320-5 |
| Adriana Lúcia da Silva Jardim | CIF 35241-1 |

3 DADOS DO ACIDENTE

3.1 Informações gerais

Acidente: Rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão em Mariana MG
Data: 05/11/2015
Hora (estimada): 15:45h
Vítimas fatais: Dezenove, catorze trabalhadores e cinco moradores do distrito de Bento Rodrigues



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

A Tabela 1 apresenta os nomes das vítimas fatais e respectivas funções e empresas. Destacamos Edmirson José Pessoa, empregado da Samarco, cujo óbito ainda não havia sido declarado até a data do encerramento deste relatório.

Tabela 1 - Vítimas fatais

| | Nome | Empresa | Função |
|----|---|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | Cláudio Fiuza | Integral Engenharia | Servente |
| 2 | Sileno Narkievicius de Lima | Integral Engenharia | Motorista |
| 3 | Waldemir Aparecido Leandro | Geocontrole | Auxiliar de Sondagem |
| 4 | Marcos Xavier | VIX Logística | Motorista de Caminhão |
| 5 | Marcos Aurélio Pereira Moura | Produquímica | Coordenador de vendas |
| 6 | Samuel Vieira Albino | Geocontrole | Sondador |
| 7 | Mateus Márcio Fernandes | Manserv | Mecânico de Manutenção |
| 8 | Edinaldo Oliveira de Assis | Integral Engenharia | Operador de máquinas |
| 9 | Daniel Altamiro de Carvalho | Integral Engenharia | Operador de máquinas |
| 10 | Claudemir Santos | Integral Engenharia | Motorista |
| 11 | Pedro Paulino Lopes | Manserv | Mecânico de Manutenção |
| 12 | Vando Maurílio dos Santos | Integral Engenharia | Motorista |
| 13 | Aílton Martins dos Santos | Integral Engenharia | Pipeiro |
| 14 | Edmirson José Pessoa (ainda oficialmente considerado desaparecido) | Samarco | Técnico serviço administrativo SR |

3.2 Descrição sumária

Segundo relatos de testemunhas, o rompimento da barragem iniciou-se por volta das 15:45h próximo à ombreira esquerda, no pé do talude do recuo do eixo do dique 1, apoiado no platô de elevação 860m, em dinâmica consistente com o fenômeno de liquefação.

Testemunhas relataram que houve movimentação do talude e dos rejeitos armazenados, com levantamento de poeira. Descreveram que viram todo o talude movimentando-se sobre o platô, carregando consigo veículos que estavam sobre ele, ao mesmo tempo em que desmoronava. Alguns descreveram um estalo ou estouro no momento do rompimento e uma percepção de tontura nos segundos que o precederam (provavelmente devido à movimentação da estrutura, ante a ruptura), mas todos foram unânimes em afirmar que, até aquele momento, não haviam percebido qualquer tremor anormal na área da barragem.

Alguns trabalhadores que presenciaram o rompimento, ao mesmo tempo em que procuravam lugares mais altos em maciços naturais, deram o alerta via rádio e verbalmente, possibilitando que outros escapassem da tragédia. Um empregado da Samarco que estava na barragem chegou a ser colhido pela lama quando corria em direção ao terreno natural,



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

mas conseguiu sobreviver. O depoimento deste trabalhador encontra-se anexo a este relatório. Os rejeitos formaram uma onda de lama que desceu o vale a jusante e galgou a barragem de Santarém. Apesar de ter sofrido danos, não houve rompimento desta barragem, que conteve a lama por tempo suficiente para que a comunidade de Bento Rodrigues fosse informalmente avisada e pudesse evacuar o local, minimizando a perda de vidas nesta comunidade.

4 A EMPRESA

4.1 Informações Gerais

Razão social SAMARCO MINERAÇÃO S/A
CNPJ 16.628.281/0003-23
Endereço Rodovia MG 129 km 117,5 Mina Germano da Zona Rural Mariana
CEP 35.420-000
Natureza jurídica Sociedade anônima fechada
Composição Societária:

Tabela 2 - Composição societária

| Razão Social | Participação | País de origem |
|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Vale S/A | 50% | Brasil |
| BHP Billiton do Brasil | 50% | Austrália |

Responsáveis Técnicos pela Barragem de Fundão segundo Relatório Anual de Lavra Exercício 2015/Ano Base 2014, enviado ao DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral):

Projeto: Joaquim Pimenta de Ávila
CREA SP 31442-D

Construção: Germano Silva Lopes
CREA-MG 62482-D

Manutenção: Germano Silva Lopes



CREA-MG 62482-D

4.2 Empresas terceirizadas que prestavam serviços na BRF

A SAMARCO mantinha contratos com diversas empresas terceirizadas, dentre as quais relacionamos na Tabela 3:

Tabela 3 - Lista não exaustiva de empresas terceirizadas

| Empresas | CNPJ |
|--|--------------------|
| Canadá Locadora de Equipamentos Ltda | 02.694.691/0001-04 |
| Diefra Engenharia e Consultoria Ltda | 17.579.459/0001-94 |
| EBJ Assessoria e Gerenciamento Ambientais Ltda | 09.595.965/0001-49 |
| Engelig Montagem e Manutenção Elétrica Ltda | 05.484.048/0001-36 |
| Fugro In Situ Geotécnica S/A | 65.088.700/0001-25 |
| Geobrito Sondagens S/A | 07.899.139/0001-68 |
| Geraes Arquitetura e Engenharia Ltda | 25.618.133/0001-57 |
| INTEGRAL ENGENHARIA LTDA | 16.629.693/0001-16 |
| JM Reflorestamento e Serviços Ltda | 08.011.784/0001-65 |
| MANSERV Montagem e Manutenção S/A | 54.183.587/0006-55 |
| MGA Automação Industrial Ltda EPP | 05.583.287/0001-43 |
| PRODUQUÍMICA Indústria e Comércio S/A | 60.398.138/0006-27 |
| VIX Logística S/A | 32.681.371/0033-50 |

5 BARRAGENS DE REJEITOS

5.1 Barragem – Definição

Barragem é qualquer estrutura - barramento, dique ou similar - que forme uma parede de contenção de rejeitos, de resíduos ou de formação de reservatório de água. A altura de uma barragem é determinada pela diferença da elevação de sua crista até o ponto mais baixo da sua fundação. No dia do rompimento, a crista da BRF estava na elevação em torno de 898m e 900m, ou seja, altura entre 106m e 108m a partir de sua base, que ficava na elevação 792m.



5.2 Classificação de Barragens

A Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17 de dezembro de 2002, dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais. De acordo com este documento, os parâmetros para classificação de uma barragem são:

a) Altura do maciço (H), em metros;

b) Volume do reservatório (Vr), em metros cúbicos;

c) Ocupação humana a jusante da barragem, à época do cadastro, em três níveis:

i - Inexistente: não existem habitações na área a jusante da barragem;

ii - Eventual: significa que não existem habitações na área a jusante da barragem, mas existe passagem ou locais de permanência eventual de pessoas;

iii - Grande: significa que existem habitações na área a jusante da barragem e, portanto, vidas humanas serão atingidas ou que a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados como Classe I - Perigosos ou Classe II - Não Inertes, segundo a norma NBR 10.004 da ABNT, ou outra equivalente que vier sucedê-la.

d) Interesse ambiental da área a jusante da barragem, em três níveis:

i - Pouco significativo: quando a área a jusante da barragem não representa área de interesse ambiental relevante ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais;

ii - Significativo: quando a área a jusante da barragem apresenta interesse ambiental relevante.

iii - Elevado: quando a área a jusante da barragem apresenta interesse ambiental relevante e a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados como Classe I - Perigosos ou Classe II - Não Inertes, segundo a norma NBR 10.004 da ABNT, ou outra equivalente que vier sucedê-la.

e) Instalações na área a jusante da barragem, em três níveis:

i - Inexistente: quando não existem quaisquer instalações na área a jusante da barragem;



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

ii - Baixa concentração: quando existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área a jusante da barragem;

iii - Alta concentração: quando existe grande concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de grande relevância sócio-econômico-cultural na área a jusante da barragem.

A partir dos parâmetros apresentados na Tabela 4 e considerando o somatório dos valores (V) dos parâmetros de classificação indicados anteriormente, as barragens são classificadas nas seguintes categorias:

- Classe I** Somatório dos valores for menor ou igual a dois ($V \leq 2$)
- Classe II** Somatório dos valores for maior que dois e menor ou igual a quatro ($2 < V \leq 4$)
- Classe III** Somatório dos valores for maior que quatro ($V > 4$)

Tabela 4 - Parâmetros para classificação de barragens

| Altura do maciço (H em m) | Volume do reservatório ($V_r \times 10^6 \text{ m}^3$) | Ocupação humana a jusante da barragem | Interesse ambiental a jusante da barragem | Instalações a jusante da barragem |
|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|-----------------------------------|
| Pequena ($H < 15$) V=0 | Pequeno ($V_r < 0,50$) V=0 | Inexistente V=0 | Pouco significativo V=0 | Inexistente V=0 |
| Média ($15 < H < 30$) V=1 | Médio ($0,50 < V_r < 5,0$) V=1 | Eventual V=2 | Significativo V=1 | Baixa concentração V=1 |
| Alta ($H > 30$) V=2 | Grande ($V_r > 5,0$) V=2 | Grande V=3 | Elevado V=3 | Alta concentração V=2 |

5.3 Instrumentação de auscultação

“Define-se como auscultação o conjunto de métodos de observação do comportamento de uma determinada obra de engenharia, com o objetivo de controlar as suas condições de segurança, comprovar a validade das hipóteses e dos métodos de cálculo utilizados no



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

projeto, verificar a necessidade da utilização de medidas corretivas, fornecer subsídios para a elaboração de novos critérios de projeto, etc".⁵

A instrumentação é formada por um conjunto de equipamentos que permitem a *auscultação* da barragem cujo principal objetivo é o **monitoramento do nível de água** contida no sistema barragem-reservatório. Para *auscultação* de barragens são utilizados diversos equipamentos que auxiliam no monitoramento do seu comportamento, como piezômetros, indicadores de nível de água (INA) e inclinômetros.

A função dos **piezômetros** é informar a carga de pressão no ponto em que foram instalados. Conhecida a carga de pressão, calcula-se a carga total naquele ponto, que é a cota de instalação mais a coluna de água sobre o mesmo.

Já o **medidor de nível de água** tem a função de indicar a cota da superfície freática no ponto onde o medidor está instalado.

Os **inclinômetros** são utilizados com o objetivo de mensurar deslocamentos horizontais, superficiais e em subsuperfície. Estes vêm sendo extensivamente utilizados para medição e registros dos dados referentes ao deslocamento horizontal de um determinado ponto no interior do maciço, avaliando a estabilidade de taludes em barragens (MACHADO, 2007).

Os dados obtidos pela instrumentação devem ser criteriosamente correlacionados com os valores-limites definidos no projeto para que se faça a correta avaliação do comportamento do nível d'água e das condições estruturais da barragem. Os procedimentos de auscultação devem também ser complementados com inspeções visuais periódicas e os dados resultantes devem ser analisados conjuntamente. Será apresentada adiante a instrumentação de auscultação que foi empregada na BRF.

⁵ http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11080/11080_5.PDF - Acesso em 22 Jan 2016



5.4 Alteamento

Alteamento é um método construtivo de barragem de contenção de rejeitos. Existem três tipos de alteamento: a montante, a jusante e por linha de centro. Estas denominações referem-se ao deslocamento que o eixo da barragem apresentará durante as etapas de alteamento.

A BRF foi construída a partir de alteamentos a montante, executados pela empresa Vix Logística e coordenados pela Samarco. Entretanto, no Relatório Anual de Lavra 2015/2014, enviado ao DNPM, a Samarco informa que não há Responsável Técnico pelos alteamentos da BRF.

5.4.1 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 rejeitos são depositados a montante da crista sobre os rejeitos dispostos anteriormente formando novos diques na sequência. Durante este processo é formada uma “praia” de rejeitos já sedimentados, que servirá de base para construção do próximo alteamento. O dique subsequente será construído sobre o topo do dique anterior na praia de rejeitos. Por isso diz-se que a construção de uma barragem de alteamento a montante é permanente.

A construção dos alteamentos deve observar, dentre outros fatores, a sedimentação dos rejeitos sobre os quais serão construídos, para redução dos riscos de acidentes. Entretanto, o aumento da produção de minério e conseqüentemente maior geração de rejeitos 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 do barramento o que poderá causar alterações nas condições geológico-geotécnicas consideradas para o projeto (CASTRO, 2008).



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, maiores responsáveis por acidentes já registrados (CASTRO, op. cit.). Este método de alteamento, o mais utilizado pelas mineradoras no Estado de Minas Gerais, é o mais econômico, uma vez que a construção da barragem é realizada por etapas (alteamentos sucessivos), reduzindo o custo inicial da obra. Porém, como informado acima, é o que apresenta maior risco de acidentes estruturais e ambientais devido à dificuldade de controle da superfície freática.

A Figura 1 apresenta o método de alteamento a montante (Vick, 1983, modificado):

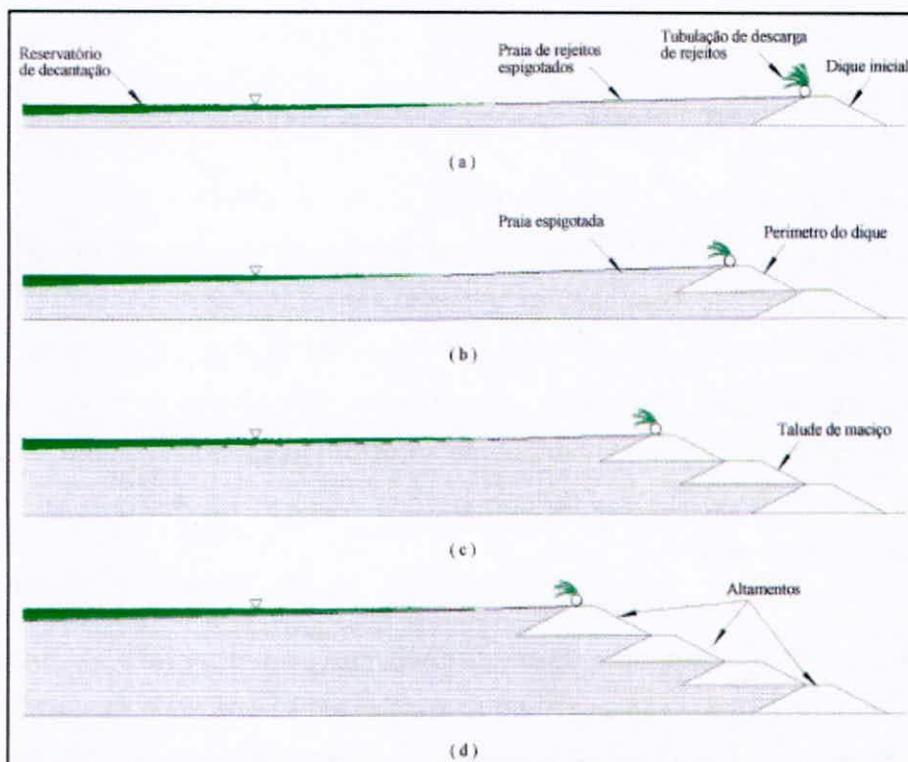


Figura 1 - Método de alteamento a montante

5.4.2 Alteamento a jusante

Neste método, os rejeitos são lançados a jusante do dique de partida, a partir de alteamentos sucessivos. Neste método, a crista e o **talude a jusante** da etapa anterior é que servirão de fundação da barragem recém-alteada.



O método de alteamento a jusante é reconhecido como o mais seguro em virtude da possibilidade de impermeabilização do talude da barragem, diminuindo o risco de ruptura por liquefação e *piping*. A Figura 2 apresenta o método de alteamento a jusante (Vick, 1983, modificado):

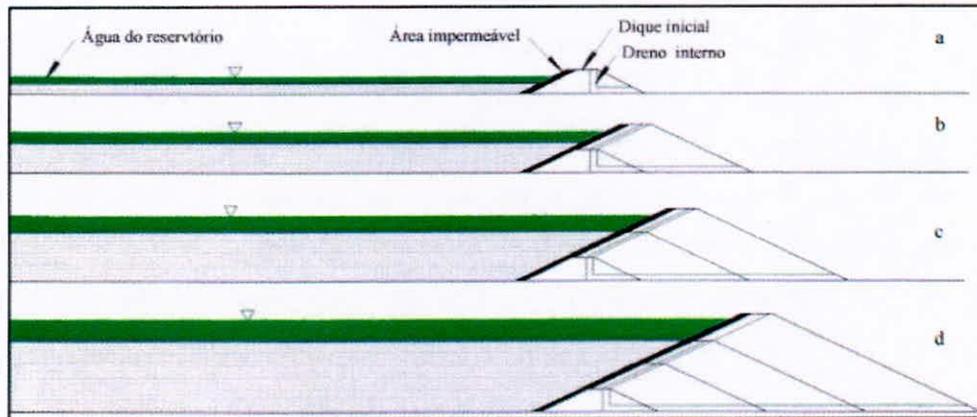


Figura 2- Método de alteamento a jusante

5.4.3 Alteamento por linha de centro

Neste método o alteamento é executado com o lançamento e deposição dos rejeitos tanto a montante quanto a jusante do dique de partida, de forma que os eixos da crista do dique inicial e dos diques dos alteamentos sucessivos mantêm-se na mesma posição. O comportamento estrutural da barragem construída por este método se aproxima daquele por método a jusante. A Figura 3 apresenta o método de alteamento por linha de centro (Vick, 1983, modificado):

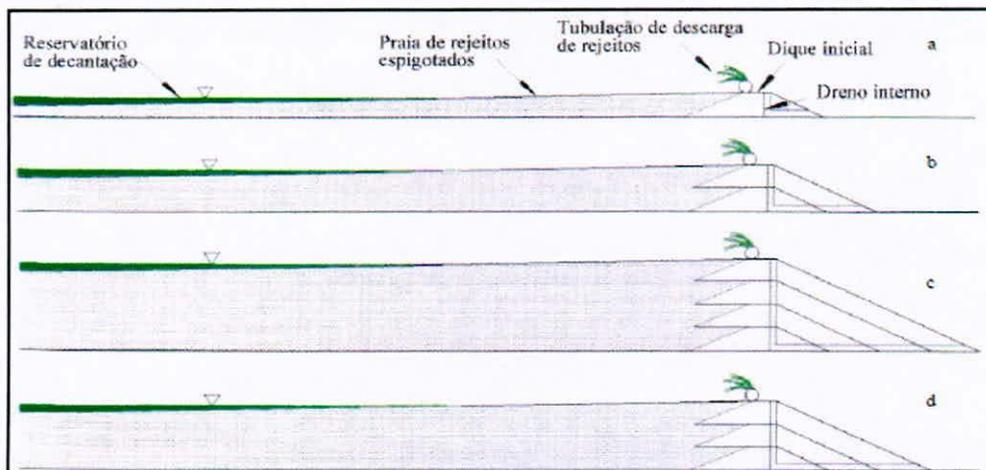


Figura 3 - Método de alteamento por linha de centro

[Handwritten signatures and initials in blue ink]

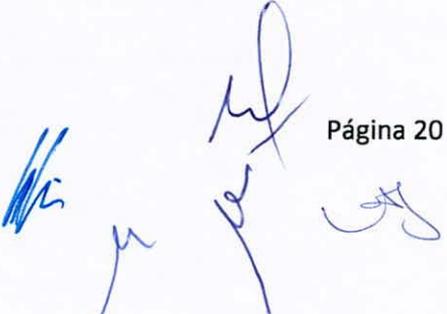


6 A BARRAGEM DE REJEITOS DO FUNDÃO

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, na Unidade Germano, localizada em Mariana, MG.

Segundo o documento “Disposição de Rejeitos no Vale do Córrego do Fundão” – Manual de Operação (emissão inicial 2007, elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria), o projeto das estruturas de disposição de rejeitos que seriam implantadas no vale do córrego de Fundão foi concebido para conter todo o rejeito a ser gerado na Usina de Beneficiamento de Germano e na Nova Planta de Beneficiamento de Alegria (Mina de Alegria pertencente à Vale S/A). O rejeito depositado na BRF era composto aproximadamente por 70% de rejeitos arenosos e 30% de rejeitos finos/lama.

Apesar de o próprio documento prever a necessidade de avaliações periódicas anuais, já se antecipando à possibilidade de adaptações operacionais frente àquelas inicialmente planejadas, a primeira e única revisão deste Manual de Operações ocorreu em 2012. Segundo esta última revisão, denominada Manual de Operação do Sistema de Rejeitos de Fundão (Atualização 2012 – Pimenta de Ávila Consultoria), a barragem foi construída com a finalidade de armazenar todos os rejeitos gerados nas plantas de beneficiamento do Germano (Usinas I e II). A premissa fundamental que norteou o projeto consistia na disposição separada dos rejeitos arenosos (Dique 1) e finos/lama (Dique 2). Consta também na versão 2012, a necessidade de revisão do manual a cada dois anos ou sempre que houver mudanças nas características da barragem e/ou condições operacionais. Entretanto, até a data do acidente do rompimento da barragem, o Manual não havia sido revisado.



Página 20



6.1 Informações técnicas

Tabela 5 - Informações técnicas da BRF

| Classificação | Classe III |
|---|----------------------------------|
| Data de início das operações | Dez/2008 ⁶ |
| Data prevista de encerramento das operações | 2019 ⁶ |
| Volume do reservatório – projeto (m ³) | 91.866.000 ⁷ |
| Volume do reservatório – atual ⁷ (m ³) | 41.000.000 ⁷ |
| Área do reservatório (m ²) | 1.003.000 ⁷ |
| Tipo de rejeito armazenado | Minério (Itabirito) ⁷ |
| Crista – comprimento de projeto (m) | 1425 ⁷ |
| Crista – comprimento atual ⁷ (m) | 791 ⁷ |
| Tipo de barragem quanto ao material de construção | Terra/Rejeito |
| Altura máxima - projeto (m) | 130 ⁷ |
| Altura na data do rompimento | 108 ⁷ |

6.2 Localização da Barragem de Fundão

A Figura 4 apresenta a localização da BRF:

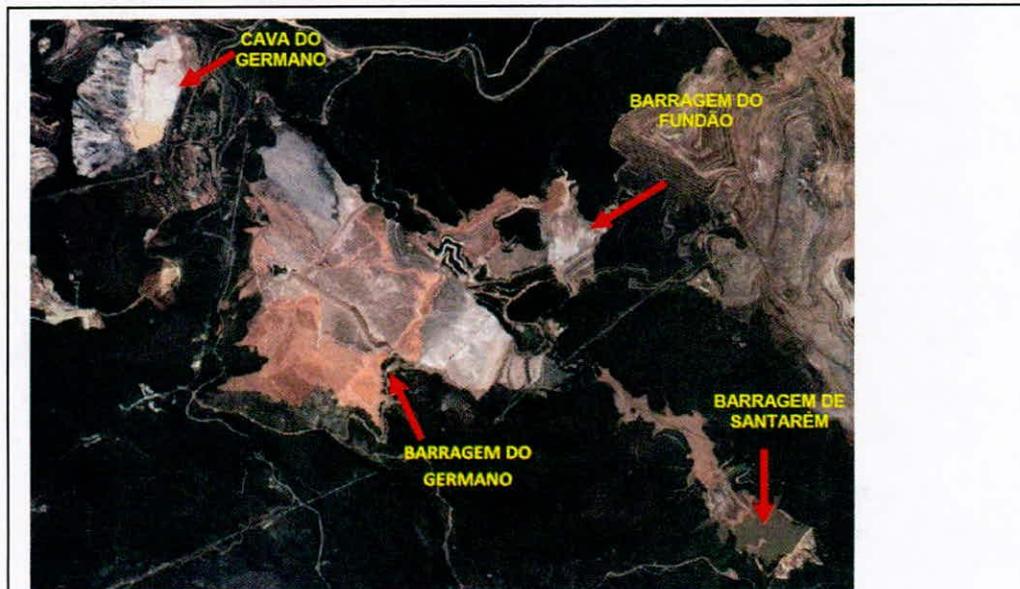


Figura 4 - Localização da Barragem de Fundão (Manual de Operação 2012)

⁶ Manual de Operação da Barragem do Fundão 2012

⁷ Relatório Anual de Lavra Exercício 2015/ ano – base 2014



A Barragem de Rejeitos de Fundão estava inserida no vale de mesmo nome, situado adjacente ao Reservatório de Rejeitos do Germano, à jusante dos Diques de Sela, Selinha e Tulipa, e à montante do Reservatório de Santarém.

6.3 Principais Partes

A Barragem de Fundão, quando do seu projeto inicial, era composta por:

- Diques 1 e 2: Ombreiras e maciço
- Reservatório (Praia de Rejeitos)
- Sistemas Extravasores: Formados por duas galerias (principal e secundária) e dois drenos de fundo.

A Figura 5 a seguir apresenta a visão geral da BRF:





MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

6.4 Classificação

A Tabela 6 apresenta os valores a serem considerados na classificação da Barragem de rejeitos de Fundão, considerando o critério de classificação de barragens apresentado anteriormente:

Tabela 6 – Valores dos parâmetros para classificação da BRF

| Parâmetros (Deliberação Normativa COPAM nº 62/02) | Enquadramento da BRF |
|--|---|
| Altura do maciço na data do rompimento (m) | 108 (El. Crista igual a 900m) |
| Volume do reservatório (m ³) | 41.000.000 |
| Ocupação humana a jusante da barragem, à época do cadastro | <u>Grande</u> : existem habitações na área a jusante da barragem e, portanto, vidas humanas serão atingidas |
| Interesse ambiental da área a jusante da barragem | <u>Elevado</u> : a área a jusante da barragem apresenta interesse ambiental relevante |
| Instalações na área a jusante da barragem | <u>Alta</u> concentração: quando existe grande concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de grande relevância sócio-econômico-cultural na área a jusante da barragem. (Classificação dada pela equipe de fiscalização) ⁸ |

A Tabela 7 apresenta o enquadramento da classificação da BRF:~

Tabela 7 - Enquadramento da BRF na classificação de barragens

| Altura do maciço (H em m) | Volume do reservatório (Vr x10 ⁶ m ³) | Ocupação humana a jusante da barragem | Interesse ambiental a jusante da barragem | Instalações a jusante da barragem |
|---------------------------|--|---------------------------------------|---|-----------------------------------|
| Alta (H>30) V=2 | Grande (Vr > 5,0) V=2 | Grande V=3 | Elevado V=3 | Alta concentração V=2 |

Como o somatório dos valores (V) é maior que 4, a Barragem de Fundão é classificada como **Classe III**.

⁸ No Relatório Anual de Lavra 2015/2014, enviado ao DNPM, a SAMARCO considerou como MODERADA a concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem.



6.5 Projeto

6.5.1 Projetado x Executado

A obra da BRF foi projetada com dois diques: Dique 1 e Dique 2. O Dique 1 foi projetado apenas para receber rejeitos arenosos e o Dique 2 receberia apenas rejeitos finos (lama) até a Elevação El. 857m.

A BRF começou a operar em dezembro de 2008, contudo, em abril de 2009, foi observada uma forte percolação no talude de jusante do Dique 1, que evoluiu para um "piping". Esta percolação se deu a poucos metros do dreno de fundo principal, em cota superior a este (por volta da El. 820.00m), provocando processo erosivo interno em seu maciço.

A percolação de aproximadamente 1,0 m de diâmetro promoveu o carreamento de material do aterro, levando à decisão, tomada pelos responsáveis da Samarco, de interromper o lançamento de rejeitos e esgotar, emergencialmente, o reservatório que estava em fase inicial de enchimento. Ao mesmo tempo, implantou-se uma berma estabilizante à jusante, evitando o avanço do processo erosivo interno do maciço.

De forma a possibilitar o lançamento de lama e rejeito arenoso foi executado o Dique 1A (situação de contingência), a montante do Dique 1, com crista na El. 825m, evitando paralisações na produção e permitindo a execução de obras junto ao Dique 1.

Após o rebaixamento do lago, em 2009, foram iniciadas as investigações nos drenos de fundo principal e secundário, localizados à jusante e à montante do Dique 1. Foi verificada a existência de uma obstrução na região da saída do dreno de fundo, sendo possível observar que as camadas dos materiais constituintes deste dreno foram implantadas em desacordo com aquelas previstas no projeto executivo da BRF. Existia material contaminante (solo) no interior de determinadas camadas do dreno de fundo (Brita 0 e Brita 1). Os drenos foram completamente removidos da região de saída do talude de montante do Dique 1.

Devido a tais modificações e à constatação de que a superfície freática apresentaria saída em cota mais elevada que a cota do projeto original, foi desenvolvido projeto de implantação de um tapete drenante a montante do Dique 1. O tapete drenante, constituído por uma camada de brita 1, duas camadas de brita 0, duas camadas de areia e camada de rejeito



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

arenoso, foi implantado na El. 828m. A drenagem contou ainda com sistema de descarga de água constituído por 27 tubos-dreno (Kananetes) com diâmetro de 100mm.

Em 2010, ocorreu passagem de rejeito arenoso para jusante do Dique 1 através da galeria principal, desencadeando um cone de sucção (*sinkhole*), na região da ombreira direita. Após inspeções na galeria principal, foi evidenciada a 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.

Durante a execução das fundações da obra e das galerias, verificou-se a presença de muito solo mole na área de projeção das galerias principal e secundária, sendo comum a remoção deste solo por meio de equipamentos. Alguns trechos dos relatórios de acompanhamento de obra elaborados pela empresa CAMTER, executora das fundações e dos diques de partida, galerias e drenos de fundo, e do relatório de "As Built" (como construído) elaborado pela Pimenta de Ávila, apontam tais fatos, conforme trechos reproduzidos abaixo:

"As Built" da empresa Pimenta de Ávila Consultoria Ltda:

"6.1.3 Dreno de Fundo

Para o dreno de fundo foram necessárias escavações isoladas de material mole, conforme a evolução dos serviços de limpeza e preparo de fundação executados para a sua construção.

O dreno teve o seu traçado alterado durante a sua implantação com o objetivo de posicioná-los em terrenos com melhor condição de fundação".

"6.1.5 Galeria Principal

Na região da estaca 47 foram realizadas escavações que atingiram cerca de 4m de profundidade quando da escavação de uma camada de material mole presente na região de fundação da galeria. O material mole foi removido e substituído por aterro compactado controlado".

Relatórios da empresa CAMTER

"Agosto de 2007

Dique 1

Início da retirada de solo mole, inclusive região em que passa a galeria.



Aterro de substituição de solo mole na região da galeria.

Houve um atraso no início da galeria do Dique 1 devido à informação de que haveria solo mole na fundação”.

A Figura 6 mostra fotos da construção da fundação da BRF, com destaque para a retirada de solo mole.



[Handwritten signatures]



“Setembro de 2007”

Dique 1

Início da retirada de solo mole, inclusive região que passa a galeria.

Aterro de substituição de solo mole na região da galeria.

Houve um atraso no início da galeria do Dique 1 devido à informação de que haveria solo mole na fundação”.

Dique 2

“As escavações de solo mole e fundações na área do Dique 2 já foram iniciadas e se encontram em estágio avançado...”

A Figura 7 mostra fotos da construção da fundação da BRF, com destaque para a retirada de solo mole.





“Outubro de 2007

As escavações de solo mole e fundações na área do Dique 2 já foram iniciadas e se encontram em estágio avançado...”

“Novembro de 2007

As escavações de solo mole e fundações na área do Dique 2 já foram iniciadas e se encontram em estágio avançado...”

“Março/Abril de 2008

Dique 1”

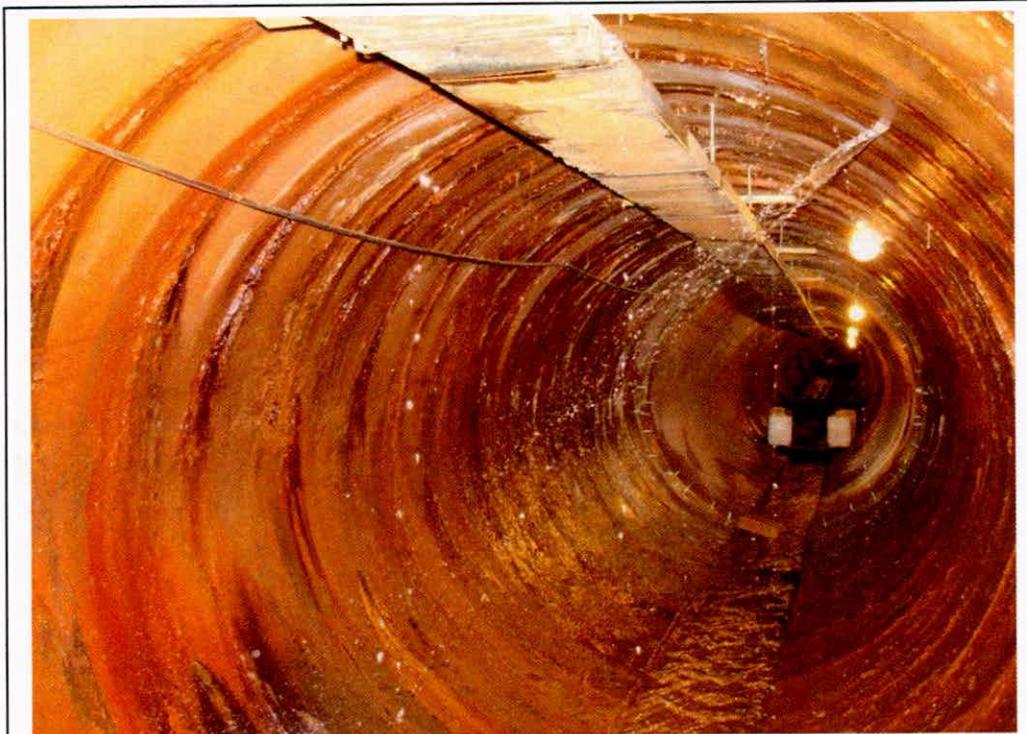
A Figura 8 apresenta fotos da execução do Dique 1 Março/Abril 2008 conforme relatório da empresa CAMTER.





MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG
SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

As situações acima descritas permitem concluir que, mesmo com a retirada de solo mole em vários trechos das galerias e posterior aterro compactado, o terreno de fundação das mesmas não resistiu às cargas a que foi submetido, recalçando e provocando prejuízos às estruturas das duas galerias. Em documentação fornecida pela Pimenta de Ávila foram constatados diversos trechos com trincas e vazamentos, conforme Figuras 9 e 10.



**Figura 9 - Vista módulo no. 24 Galeria Principal
com infiltrações de água e rejeito**

[Handwritten signatures in blue ink]



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

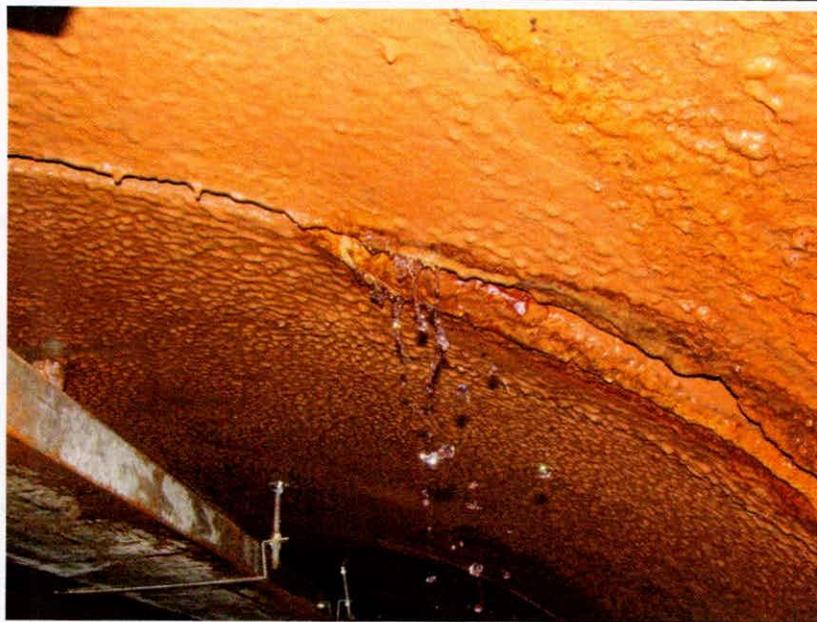


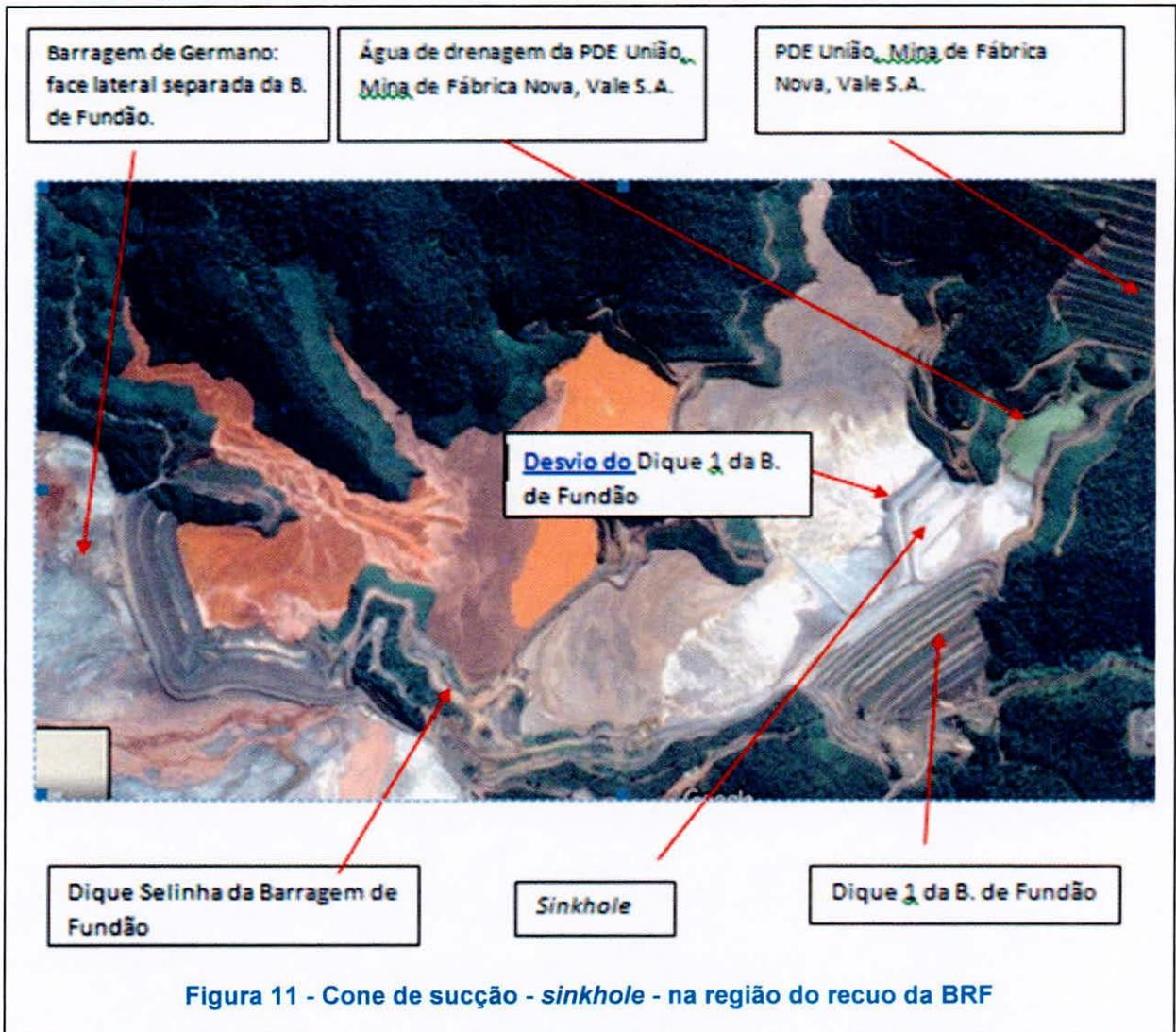
Figura 10 - Infiltração de água no teto da galeria, através da junta n° 42

Em razão dos prejuízos estruturais provocados à galeria principal, foi realizada recuperação do terreno da fundação por meio do método de melhoria ou consolidação do solo, denominado “*Jet Grouting*”, executado pela empresa Novatecna, com início em janeiro de 2011 e término em junho de 2011.

Posteriormente, foi também executado “*Jet Grouting*” para a recuperação do terreno de fundação da galeria secundária, com início em novembro de 2011 e término em abril de 2012. Em 2012, surgiu um novo cone de sucção (*sinkhole*) na área do recuo da barragem, na altura da El. 855m, na região da ombreira esquerda, próximo ao pé da Pilha de Deposição de Estéril (PDE) União da Mina de Fábrica Nova, pertencente à Vale S.A., conforme se constata em foto do Google Maps, de 05 de julho de 2012. Estas informações foram fornecidas em 01/12/2015 pelos empregados da Samarco Viviane Aparecida Rezende, Engenheira Civil e Geotécnica, e Wanderson Silvério Silva, Engenheiro Civil e Geotécnico. Ainda segundo estas informações, ao pesquisar-se a causa do surgimento do “*sinkhole*”, verificou-se que a galeria secundária havia sofrido um recalque em virtude de problemas na fundação, o que ocasionou a abertura de uma das juntas da galeria por onde escorria o rejeito da barragem.



A Figura 11 apresenta o sinkhole que surgiu na região do recuo do eixo da BRF, na região da ombreira esquerda. Os rejeitos acumulados nesta região foram carreados para dentro da galeria secundária através das avarias estruturais existentes na mesma.



Pode-se assim, inferir que, mesmo com o reforço de fundação (*Jet Grouting*) executado sob a galeria secundária, o solo de fundação não resistiu às cargas atuantes. Conforme mostra a Figura 9, existe uma contribuição significativa de água que se acumula na grota junto à PDE União. Esta carga hidráulica pode ter contribuído para sobrecarregar a fundação.

Em 2012 a empresa VOGBR realizou um estudo conceitual para o entendimento da dinâmica do fluxo de drenagem interna da barragem, tendo sido recomendada calibração do modelo de percolação depois de solucionado o represamento da água. Este estudo

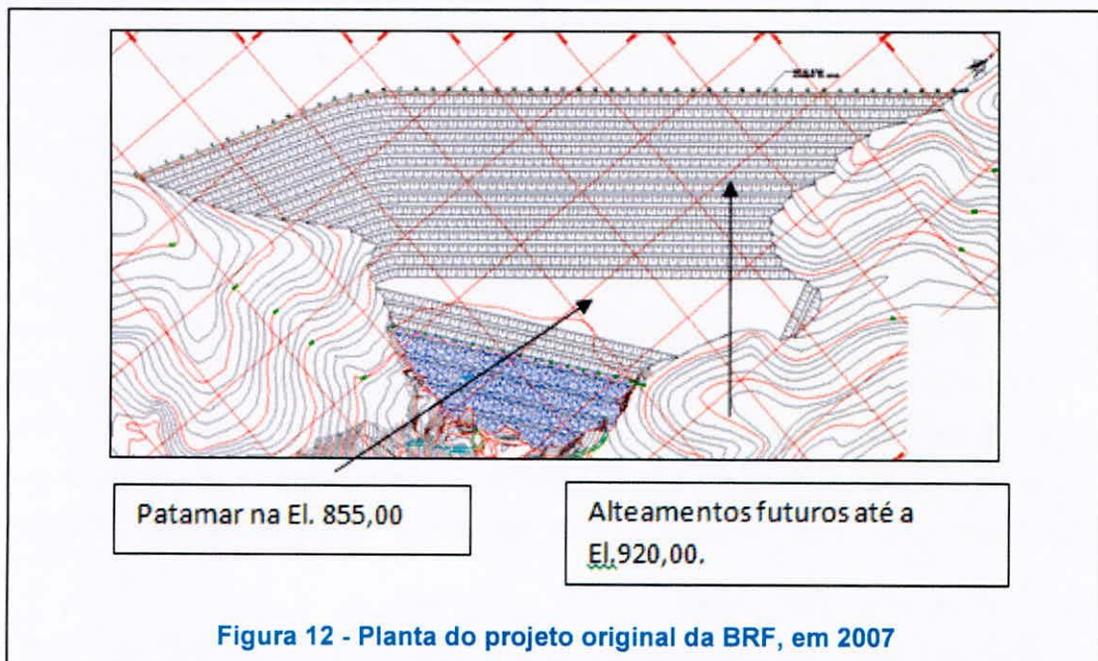


identificou na ombreira esquerda da barragem um gradiente hidráulico elevado. Esta anomalia estaria relacionada ao nível de água mais elevado na região da PDE União.

Também em 2012, face todos os problemas ocorridos com as duas galerias existentes, decidiu-se construir um novo sistema extravasor, constituído de duas galerias em tubos de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) com diâmetro de 1,20 m. Após o término desta obra, a galeria principal e a secundária foram plugadas, isto é, concretadas pela Construtora G-Maia Ltda, com início em 12/12/2012 e término em 11/09/2013, conforme Anotação de Responsabilidade Técnica nº 14201300000001199616.

6.5.2 A mudança de eixo da BRF

Quando da elaboração do projeto original da BRF sob responsabilidade da empresa Pimenta de Ávila, uma das premissas adotadas foi não permitir que o reservatório de rejeitos arenosos alcançasse o pé da PDE União, pertencente à Mina Fábrica Nova, de propriedade da Vale S.A., existente no vale situado à margem esquerda do reservatório, à montante do Dique 1. Foi prevista a implantação de um patamar na El. 855m com largura variando de 25 a 100m, para que os demais alteamentos pudessem atingir a cota final de projeto El. 920 m, conforme Figura 12.





MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG
SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Segundo a empresa Pimenta de Ávila, após a incorporação do Dique 1A, verificou-se que o arranjo final (El. 920m) originalmente proposto, não mais atenderia os quesitos de estabilidade global do maciço. Segundo esta empresa, a implantação do Dique 1A acarretou a disposição de lama em seu reservatório à montante, fato este não previsto no desenho original do projeto.

A empresa projetista da BRF também informou que, em maio de 2011, a SAMARCO solicitou a ocupação do vale onde se situa a PDE União com rejeitos arenosos, uma vez que foi detectado um ganho de volume para disposição desses rejeitos. De modo a manter o fator de segurança da BRF acima de 1,5 (um vírgula cinco), um novo arranjo geométrico tornou-se necessário.

As Figuras 13 e 14 apresentam o novo projeto da BRF executado pela Pimenta de Ávila Consultoria Ltda, em 20/06/2011.

| | | | |
|--|---|--|---------------|
| PIMENTA DE AVILA CONSULTORIA LTDA. | | DESENHO No. | |
| | | SA-420-DS-24380-00 | |
| T.E. - TIPOS DE EMISSÃO | | | |
| A - PRELIMINAR C - P/ CONHECIMENTO E - P/ CONSTRUÇÃO G - CONF. CONSTRUÍDO L - APROVADO | | | |
| B - P/APROVAÇÃO D - P/ COTAÇÃO F - CONF. COMPRADO H - CANCELADO | | | |
| EMISSÃO | | SAMARCO  SAMARCO MINERAÇÃO S.A. | |
| DES. WSA 20/06/11 | TÍTULO GERMANO PLANTA II BARRAGEM DE REJEITOS DIQUE 1 - FUNDÃO NOVO ARRANJO PLANTA E DETALHES | | |
| PROJ. JB 20/06/11 | | | |
| VERIF. JB 20/06/11 | | | |
| APROV. JWA 20/06/11 | ESCALA 1:1000 | No. SAMARCO G021600-0-130489 | REVISÃO 01 |

Figura 13 - Projeto da BRF – Pimenta de Ávila Consultoria Ltda, em 20/06/2011

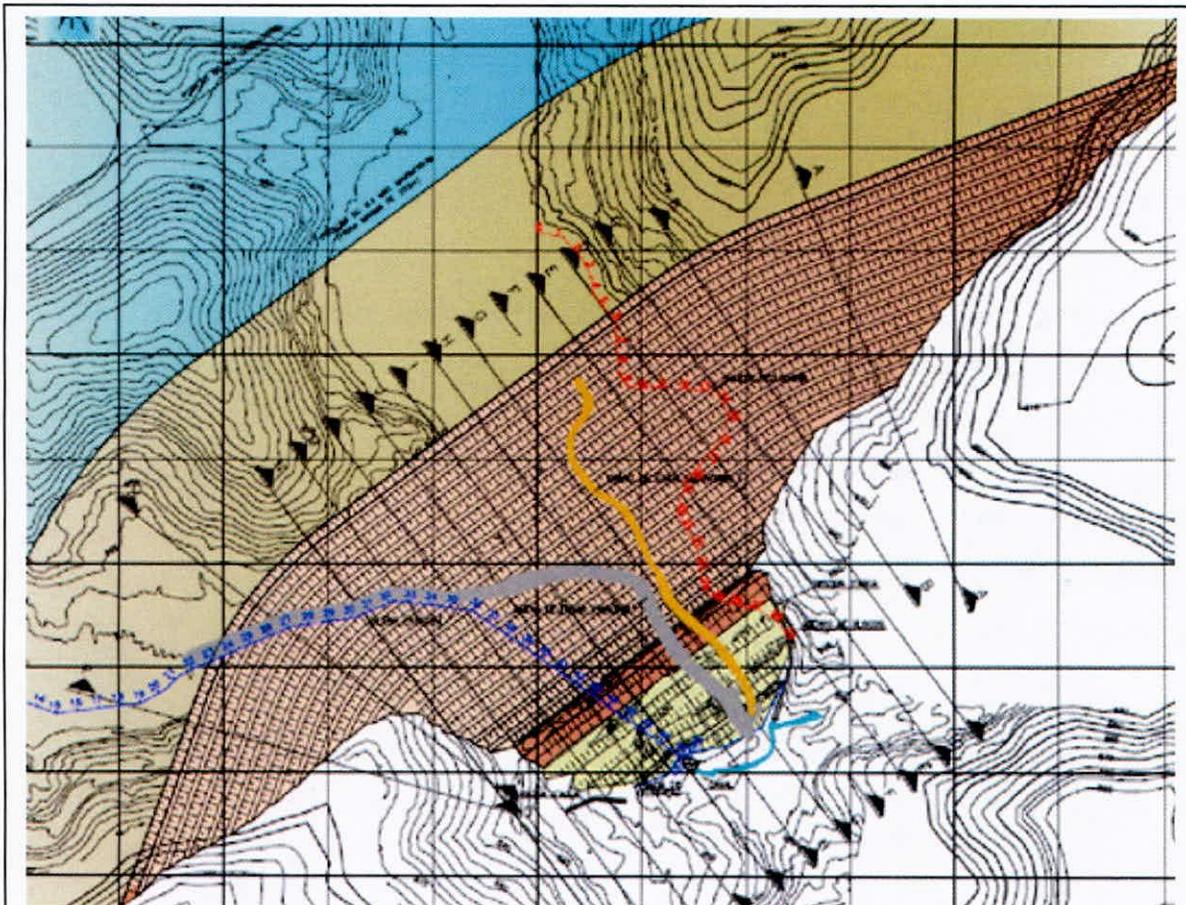


Figura 14 - Detalhe do projeto da BRF

Contudo, em 2012, a Samarco, decidiu executar os alteamentos da BRF em *desacordo* com o projeto proposto, conforme informado pelo Engenheiro Joaquim Pimenta de Ávila, responsável pela empresa Pimenta de Ávila Consultoria LTDA, em depoimento tomado em 23/12/2015 na sede da SRTE-MG – Superintendência Regional do Trabalho e Emprego.

Conforme informações prestadas à Auditoria Fiscal do Trabalho em 01/12/2015 por Wanderson Silvério Silva⁹, Engenheiro Civil e Geotécnico, e em 16/12/2015 por Germano

⁹ O Engenheiro Wanderson Silvério Silva informou ter sido contratado pela Samarco em 2012, à época da construção do desvio do eixo da BRF.



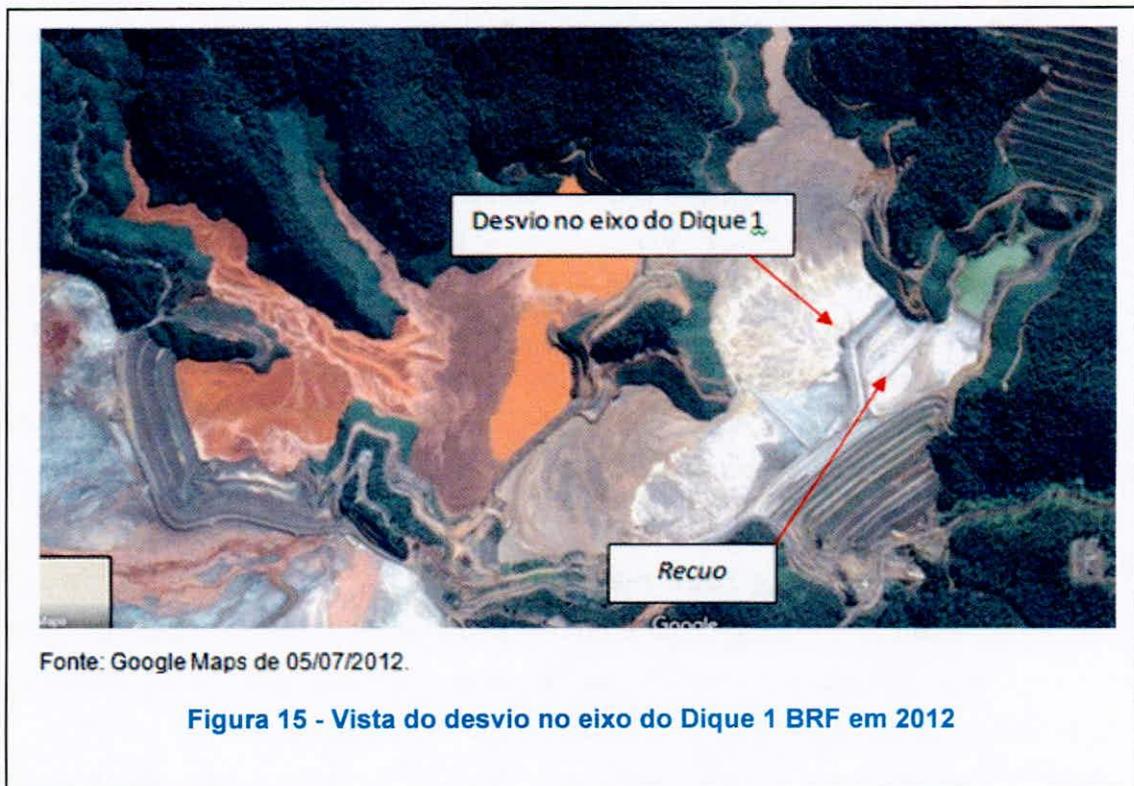
MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Silva Lopes¹⁰, Engenheiro Civil e Geotécnico, o eixo da barragem foi desviado, não tendo sido elaborado novo projeto e novos cálculos para a execução da nova geometria adotada, sendo utilizadas as premissas básicas do projeto original de alteamento da BRF até a El.920m. A Figura 15 apresenta o desvio do eixo da BRF.

Em 17/12/2015 Daviely Rodrigues Silva, Engenheira Civil e Geotécnica da Samarco, que ficou responsável pela operação da BRF a partir de 2012, afirmou que o desvio do eixo da BRF foi realizado após o surgimento do *sink-hole* considerando os parâmetros do projeto original da empresa Pimenta de Ávila. Relatou que não foi elaborado novo projeto para este desvio do eixo e não foram feitos cálculos adicionais para a execução desde recuo no eixo da barragem, sendo considerada apenas a recomendação que este desvio do eixo deveria manter uma “praia” de rejeitos arenosos de 200 metros a partir do último talude do recuo.



¹⁰ O Engenheiro Germano Silva Lopes informou que trabalha na Samarco desde março de 2011 e que a partir de janeiro de 2012 deixou de participar diretamente das atividades de operação da BRF, tendo assumido a Gerência Geral de Geotecnia, sendo que a partir de 2014 passou a ocupar o cargo de Coordenador Geral do Plano de Ações de Emergência.



A mudança do eixo da barragem sem um novo projeto e sem um novo estudo técnico que a referenciasse está em desacordo com os princípios técnicos da Engenharia. Mesmo que obedecidas as premissas básicas quanto à inclinação de taludes e à largura das bermas dos diques de alteamento, torna-se inaceitável a mudança de eixo da BRF sem um novo projeto.

Observa-se que o desenho do eixo de desvio da barragem em nada se assemelha com a planta original elaborada pela Pimenta de Ávila em 2007, apesar de existir naquela também um recuo na El. 855m. Neste caso, a Samarco assumiu o risco de alterar o eixo da barragem sem a elaboração de um novo projeto.

6.5.3 Drenagem da PDE União da Mina de Fábrica Nova da Vale SA

Em documento intitulado “Nota Técnica – Justificativa para mudança da geometria do arranjo físico da Barragem de Fundão na El. 920 m”, de setembro de 2011, a empresa Pimenta de Ávila Consultoria Ltda, cita às fls. 05:

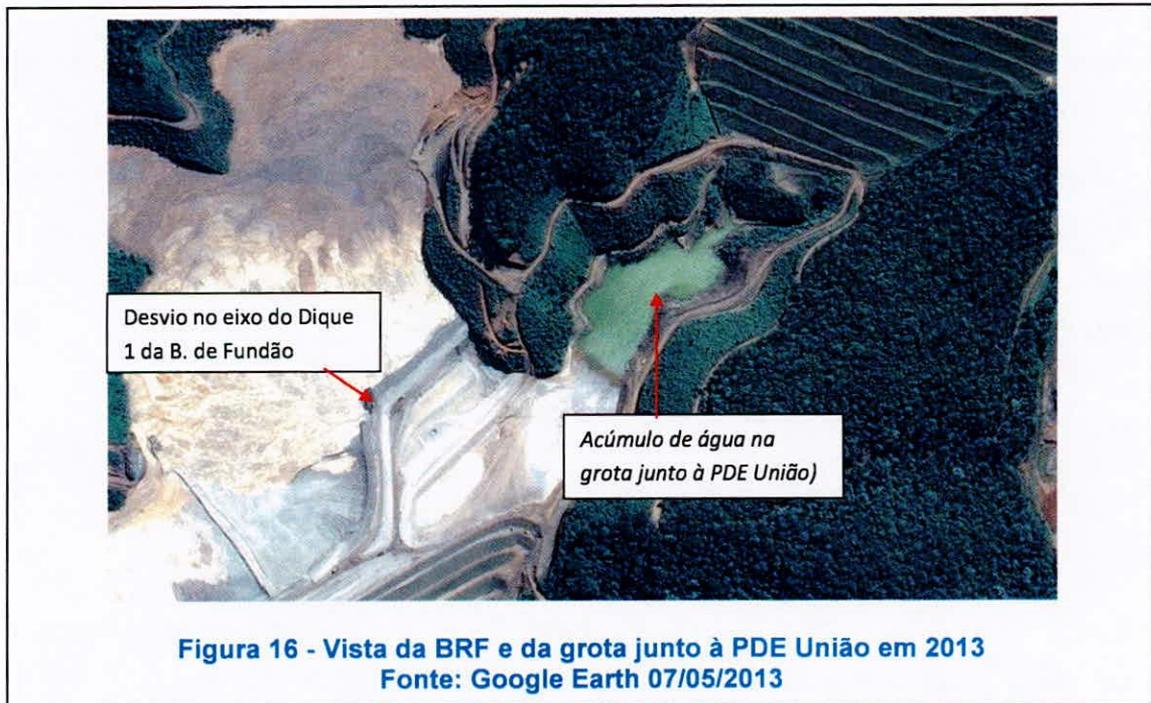
“É oportuno observar que o projeto original do SRF (Sistema de Rejeitos do Fundão) previu a implantação de uma estrutura hidráulica para captar e conduzir o fluxo superficial oriundo da bacia hidrográfica de contribuição do talvegue, onde hoje será disposto o rejeito, para área situada a jusante do Dique 1. Entretanto, este dispositivo hidráulico não foi implantado durante as obras do SRF. Desta forma toda a contribuição de drenagem superficial proveniente da Permanente 2¹¹ descartada no reservatório do Fundão e seu manejo deverá ser efetuado pela equipe de operação da Samarco. A premissa de consideração do arranjo da PDE União nos estudos/projetos do Fundão repercute em alteração substancial da cheia de projeto para a condição atual do SRF.”

Repise-se que a empresa VOGBR realizou em 2012 um estudo, em nível conceitual, para o entendimento de fluxo da dinâmica do fluxo de drenagem interna da barragem, tendo sido recomendada calibração do modelo de percolação após a solução do represamento de água. Este estudo identificou na ombreira esquerda da barragem um gradiente hidráulico elevado. Esta anomalia estaria relacionada ao nível de água mais elevado na região da Pilha de Deposição de Estéril (PDE) da VALE, onde se formou um lago na saída do dreno de fundo dessa estrutura.

¹¹ PDE União, Vale S.A.



As Figuras 16 e 17 apresentam a vista da Barragem de Rejeitos de Fundão nos anos 2013 e 2014 com destaque para a grota junto à Pilha de Estéril da Mina de Fábrica Nova, da Vale S.A.





Em 2013, a empresa VOGBR elaborou projeto executivo de drenagem da PDE União, Mina de Fábrica Nova, Vale S.A. A execução da obra foi acompanhada pela empresa BVP Engenharia, iniciando em setembro de 2013 (Relatório Mensal Nº 1) e terminando em fevereiro de 2014 (Relatório Mensal Nº6).

Contudo, mesmo após o término da obra, ainda continuou, até o rompimento da barragem, acúmulo de água na grota junto ao pé da pilha.

Conforme se verifica, a água da grota junto à PDE União sempre foi um problema para a barragem, que só foi contornado de 2014 para 2015. A água da grota, que exercia carga hidráulica sobre a BRF, contudo, não era levada em consideração quando do cálculo de segurança da estabilidade da barragem.

6.5.4 Sistema de Drenagem

Como dito anteriormente, a água que percola pelo corpo da barragem deve ser drenada com máxima eficiência, pois, caso contrário, a pressão neutra poderá sobrevir, afetando toda a estabilidade dos taludes da mesma.

A posição do lençol freático exerce influência fundamental no comportamento do maciço, interferindo na estabilidade estática e dinâmica da barragem. Por esta razão, o controle do lençol freático é de suma importância em seu projeto.

O projeto da BRF previa a construção de sistemas de drenagem interna e superficial. A drenagem interna inicialmente projetada era composta por duas galerias de fundo (principal e secundária) em concreto armado e dois drenos de fundo (principal e secundário).

O sistema de drenagem superficial é composto por canaletas trapezoidais e canais periféricos retangulares de concreto nas linhas das extremidades direita e esquerda da estrutura. O sistema extravasor do Dique 1 (galeria secundária) era do tipo associado a uma galeria de encosta, dotada de tulipas, operadas com stop-logs. A galeria de fundo apresenta inclinação de 1,5% e mede aproximadamente 420m de comprimento.

O sistema extravasor do Dique 2 (galeria principal) era composto por galeria de fundo com inclinação de 1,5%, acoplada a galeria inclinada dotado de tulipas operadas com *stop-logs*



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

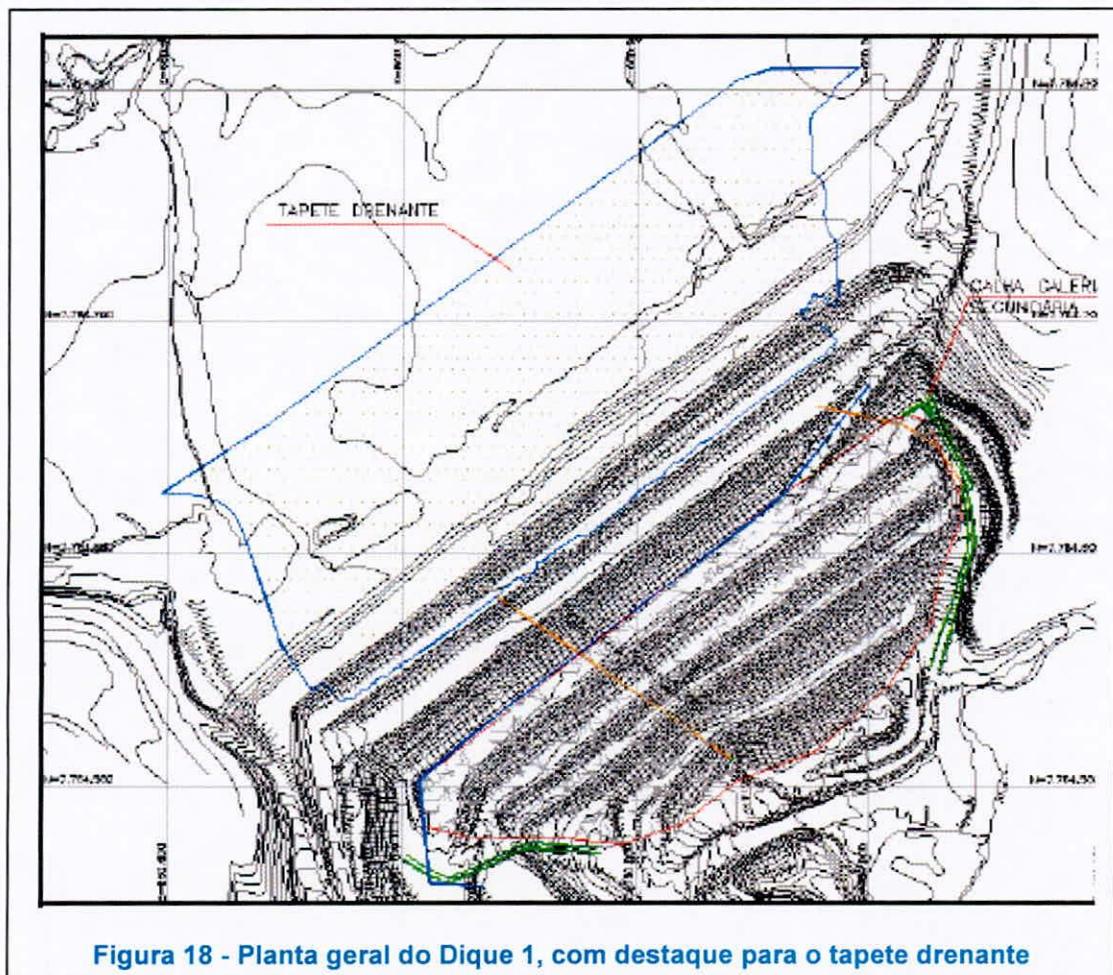
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

apoiada sobre a encosta do terreno natural. A galeria de fundo do Dique 2 apresenta cerca de 750m de comprimento e ambas apresentam seção circular interna de 2,0m de diâmetro.

Após o "piping" observado no talude de jusante do Dique 1, em abril de 2009, verificou-se que os drenos de fundo da BRF estavam colmatados. Foi possível observar também que as camadas dos materiais constituintes deste dreno foram implantadas em desacordo com aquelas previstas no projeto executivo da BRF. Os drenos de fundo foram completamente removidos da região de saída do talude de montante do Dique 1, como relatado anteriormente.

Devido a tais modificações e à constatação de que a superfície freática apresentaria saída em cota mais elevada que a cota do projeto original, foi desenvolvido projeto de implantação de um tapete drenante a montante do Dique 1. O tapete drenante foi implantado na El. 828m conforme descrito anteriormente. A Figura 18 apresenta a planta geral do Dique 1, com destaque para o tapete drenante.





MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Quando do rompimento da barragem em 05/11/2015, todos os drenos estavam em execução, com exceção do dreno junto ao terreno natural na ombreira esquerda que já havia sido concluído.

O relatório Nº 11 do ITRB – *Independent Tailings Review Board*, de 20 de novembro de 2014, informou que a VOGBR havia apresentado o projeto executivo da drenagem complementar da barragem de Fundão para a cota 920m. Este projeto incluía um tapete drenante na ombreira direita na cota 890m e um tapete drenante na cota 860m na área da ombreira esquerda e da grota da PDE União.

Citou o relatório que, de acordo com a VOGBR, os resultados da análise confirmaram a validade do uso de dois tapetes nas áreas laterais, contando com a presença somente do tapete drenante existente na região central.

O ITRB entendeu que os tapetes drenantes foram dimensionados para capacidade com fator de segurança estimado de 10 (típico para este tipo de situação). Com a construção dos tapetes complementares nas ombreiras, o fluxo estimado que chegaria ao tapete central existente reduziria de 2.100 m³/h para aproximadamente 475 m³/h, que é inferior à capacidade máxima estimada para os *kananetes* existentes de 1.458 m³/h, cálculo esse baseado na capacidade máxima medida em um dos *kananetes* com a carga atual. O ITRB considerou que o fator de segurança em relação à capacidade de descarga dos *kananetes* não era suficiente. Isto é, o fator de segurança de 3,07 (1.458/475) seria insuficiente para a drenagem da barragem.

O ITRB considerou que medidas adicionais de drenagem na área central seriam necessárias pelas seguintes razões:

- O baixo fator de segurança quanto à capacidade de fluxo dos *kananetes*.
- O fator segurança seria ainda mais baixo levando em conta a contribuição de fluxos laterais devido aos efeitos tridimensionais.
- O fato de a Samarco estar considerando possível alteamento de Fundão acima da cota 940m com conseqüente aumento de carga hidráulica e, portanto, aumento da demanda na drenagem da barragem.

Tais preocupações do ITRB se justificaram, pois várias surgências ocorreram no corpo da barragem de 2013 em diante, além de grandes trincas que ocorreram em bermas, taludes e



crista da barragem, chegando inclusive na praia do reservatório, na região do recuo do eixo, junto à ombreira esquerda, em agosto de 2014.

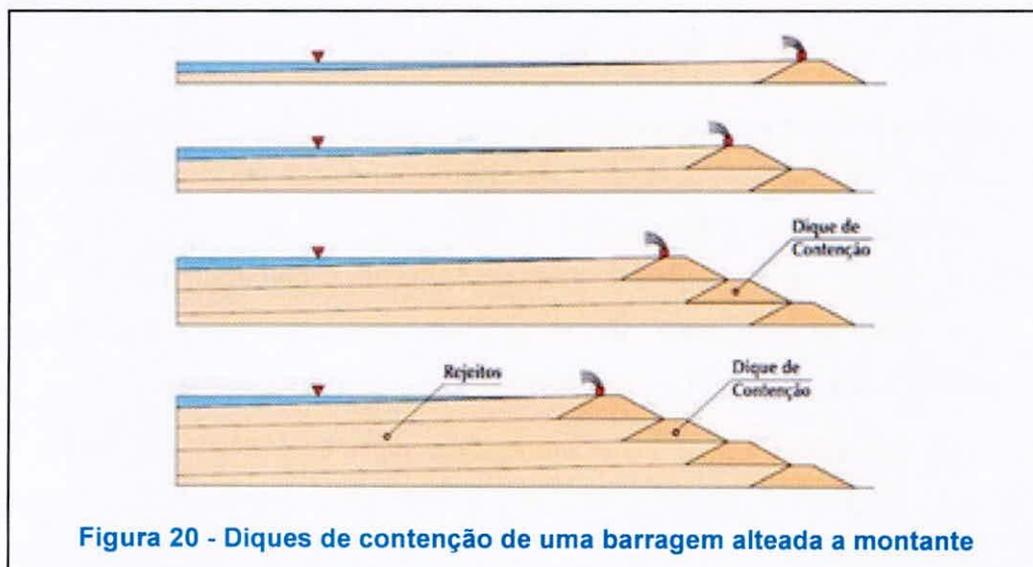
De acordo com o exposto, todo o sistema de drenagem da BRF foi modificado. A obra apresentou problemas de drenagem durante toda a sua história e a Samarco tentou minimizar as deficiências da drenagem executando várias obras ao mesmo tempo. Contudo, elas não foram suficientes para drenar de forma adequada a água que percolava em suas estruturas. Surgências e grandes trincas nos diques da barragem apontaram que havia uma percolação excessiva de água pelo corpo da barragem, fragilizando-a, levando-a a ruptura em 05/11/2015.

6.6 Construção

A construção da BRF iniciou-se com a implantação do Dique de Partida (El. 792m), chamado pela empresa de Dique 1. A partir daí, a construção do reservatório continuou a ser feita por etapas, por meio de alteamentos sucessivos, ao longo do tempo.

6.6.1 Método de Alteamento Escolhido

Para a construção da BRF a Samarco escolheu o método de alteamento à montante, já descrito anteriormente. A Figura 20 mostra as etapas para a construção de uma barragem de rejeitos erguida à montante:





MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Segundo Castro (2008), no alteamento da barragem à montante, o dique subsequente ficará apoiado no topo do dique anterior e na praia de rejeitos. Tal condição quando mal executada pode gerar problemas de subpressão no reservatório causada pela variação da percolação de água ali armazenada. Excesso de subpressão poderá afetar a fundação do barramento.

De acordo com Machado (2007), baseado na variação da porosidade, parâmetros de resistência e permeabilidade, e na avaliação do real potencial de liquefação (por carregamentos estáticos e dinâmicos) e considerando as variadas características do rejeito durante sua própria deposição e aquelas que ocorrem ao longo do tempo, em diferentes alteamentos, os riscos de ruptura hidráulica deste tipo de barragem são elevados. Este autor cita Vargas (1980), que define ruptura hidráulica como a perda de resistência e estabilidade do solo e, conseqüentemente, a danificação da estrutura constituída por ele ou sobre ele fundada, por efeito das pressões de percolação d'água, que é o fluxo ou movimento intersticial de líquido através da barragem, fundação, ombreiras ou reservatório de rejeitos.

As barragens não deverão ter grande altura e a velocidade de alteamento fica condicionada às propriedades dos rejeitos, visto que sua segurança depende da resistência mobilizável dos rejeitos que, por sua vez, é condicionada pelas pressões neutras. Estas pressões estão relacionadas à velocidade de aumento das sobrecargas provocado pela velocidade de alteamento da barragem e pela velocidade de dissipação das pressões neutras (CASTRO, 2008; GALVÃO SOBRINHO, 2014).

Cabe aqui ressaltar que a BRF ficaria com uma altura total de 128 metros quando chegasse à El. 920m, conforme previa o projeto original, elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria Ltda. Para agravar a situação, a Samarco estava realizando obras de drenagem na BRF visando o alteamento da mesma até a El. 940m, quando então ficaria com 148m de altura.

Galvão Sobrinho (2014) cita 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 por este método seja descartado. Também informa o autor outras várias desvantagens da barragem alteada à montante tais como:



- Menor coeficiente de segurança, em função da linha freática, em geral, situada muito próxima ao talude de jusante;
- A superfície crítica de ruptura passa pelos rejeitos sedimentados, porém não devidamente compactados;
- 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;
- 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.

Segundo Castro (op. cit.), o método de alteamento a montante é o mais utilizado na indústria da mineração, o mais econômico, mas em contrapartida é o mais inseguro do ponto de vista estrutural e ambiental.

A Samarco, quando fez opção pela barragem de rejeitos com alteamento pelo método a montante, assumiu o risco de executar tal obra em virtude dos vários problemas que este tipo de estrutura apresenta ao longo de sua vida útil.

6.7 Operação e Manutenção

6.7.1 Instrumentação de auscultação na Barragem de Fundão

Para auscultação da BRF foram utilizados:

- Piezômetros tipo *standpipe* (também conhecidos como Casagrande, termo utilizado pela empresa para este tipo de piezômetro);
- Piezômetros tipo elétrico de corda vibrante (chamados pela empresa de *acústicos*);
- Indicadores de nível de água (INA).

Tanto para o piezômetro *standpipe* quanto o de corda vibrante, o valor de leitura fornecido é a cota piezométrica, que é a soma da carga de elevação mais a carga de pressão no ponto



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

de instalação. Ou seja, é fornecida a carga total no ponto de instalação, em relação ao nível do mar.

A instrumentação inicialmente instalada no Dique 1 era composta por 24 piezômetros Casagrande, 30 piezômetros acústicos e 14 medidores de nível de água, conforme consta no Manual de Operação da Barragem (versão 2012/2013).

Recebemos informações contraditórias da SAMARCO sobre os piezômetros acústicos. Em um primeiro momento a empresa informou que não havia piezômetros acústicos instalados; posteriormente a equipe de fiscalização foi informada que os piezômetros acústicos haviam sido instalados no início de operação da barragem, mas depois foram “perdidos”.

Além disso, apesar de o Programa de Gerenciamento de Riscos – PGR, elaborado pela Samarco (estabelecido pela NR22)¹², e de o Manual de Operação da BRF, elaborado por Pimenta de Ávila, preverem a instalação de inclinômetros como forma de monitorar os deslocamentos da barragem, nenhum destes equipamentos estava instalado até o dia do seu rompimento.

Segundo informações do Wanderson Silvério Silva, engenheiro e geotécnico da Samarco, a empresa adquiriu um inclinômetro importado que havia sido instalado na ombreira esquerda, porém não conseguiram colocá-lo em operação e desistiram de fazer uso do equipamento.

Como dito anteriormente, os inclinômetros são utilizados com o objetivo de mensurar deslocamentos horizontais, superficiais e em subsuperfície.

Segundo o Manual de Operação (2012/2013): “As leituras dos marcos superficiais e dos inclinômetros deverão ser executadas mensalmente”.

¹² NR22 – Norma Regulamentadora no.22 Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, disponível em <http://www.mtps.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR22/NR22.pdf>

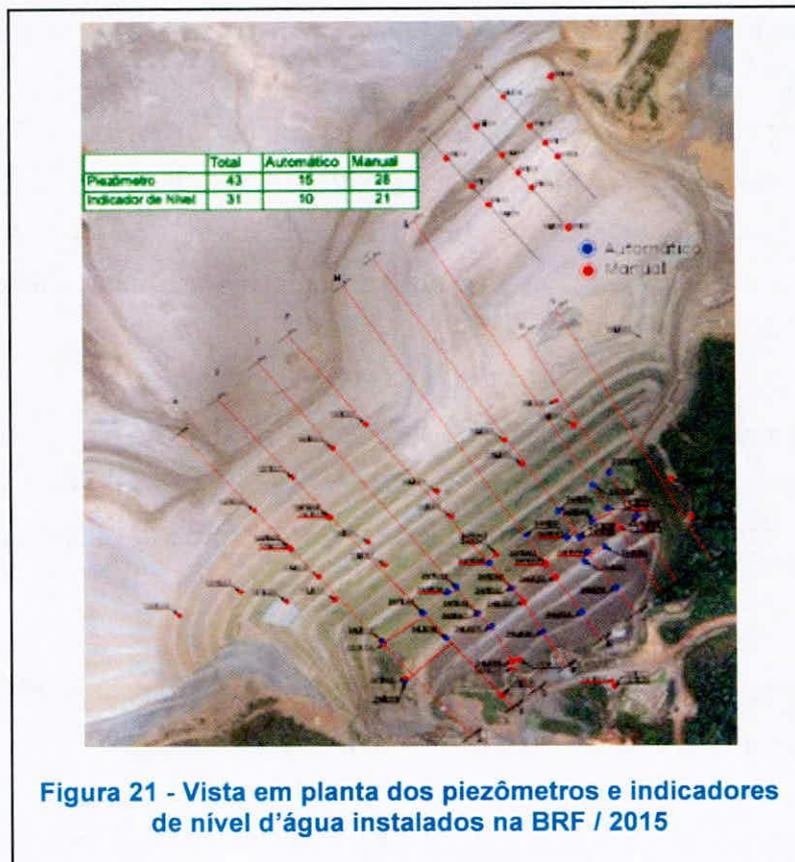


6.7.2 Monitoramento do nível d'água por meio de instrumentos

A Samarco possuía em novembro de 2015 os seguintes instrumentos instalados na BRF:

- 43 piezômetros (PI), sendo 15 de leitura automática e 28 de leitura manual;
- 31 Indicadores de nível d'água (LI), sendo 10 de leitura automática e 21 de leitura manual.

A Figura 21 mostra uma vista em planta dos piezômetros e indicadores de nível d'água instalados na BRF:



No período de 2013 a 2015, a empresa VOGBR foi a responsável pela elaboração dos relatórios técnicos de segurança regular da BRF. Vejamos as questões referentes ao monitoramento do nível d'água através de piezômetros e de indicadores de nível d'água constantes nestes relatórios.



**6.7.2.1 Relatório Técnico de Segurança Regular elaborado por VOGBR, Dique 1, 2013
(documento Samarco G001624-O-1RT062)**

Todos os piezômetros apresentaram leituras dentro do nível normal. Apenas o indicador de nível d'água 24LI026 apresentava nível de alerta.

O relatório se restringe apenas a analisar as leituras dos piezômetros que constam da Carta de Risco, elaborada pela empresa GEOFAST em 2013. Ao final do relatório é recomendado que:

“Revisar a carta de risco (Dique 1)”.

Ressalta-se que a Samarco não revisou a carta de risco em 2013.

**6.7.2.2 Relatório Técnico de Segurança Regular elaborado por VOGBR, Dique 1, 2014
(documento Samarco G001627-O-1RI002)**

Vários piezômetros e indicadores de nível de água apresentaram leituras acima do nível normal, podendo ser destacados:

- a) 24PI044: entre ago/13 e out/13, leituras variaram entre os níveis de atenção e alerta. Após out/13 → nível de emergência.
- b) 24PI047: entre ago/13 e jul/14 → nível de alerta.
- c) 24LI030: entre ago/13 e jul/14 → nível de alerta.
- d) 24PI057: sem leitura.
- e) 24LI028: dez/13 a jan/14 → nível de emergência, fev/14 a jul/14 → nível de alerta.
- f) Vários instrumentos não foram avaliados, pois, não constavam da carta de risco.

O relatório se restringe apenas a analisar as leituras dos piezômetros que constam da Carta de Risco, elaborada pela empresa GEOFAST em 2013. Ao final do relatório é recomendado, mais uma vez: *“Revisar a carta de risco (Dique 1)”.*

Ressalta-se que a Samarco não realizou a revisão da carta de risco em 2014.



Página 47



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

6.7.2.3 Relatório Técnico de Segurança Regular elaborado por VOGBR, Dique 1, 31/7/2015 (documento Samarco G001600-O1RI002)

Vários piezômetros e indicadores de nível de água continuaram apresentando leituras acima do nível normal, conforme Tabela 8. Nesta tabela são informados somente os instrumentos que constam da carta de risco de 2013. Em relação a isto, a VOGBR, pela terceira vez seguida, apontou como medida a ser tomada a revisão da carta de risco.

Na pág. 24 do Relatório, ocorreu um erro material quanto à identificação dos instrumentos. O texto informa que os piezômetros 24PI021, 24PI029, 24PI023 e 24PI024 não possuem leitura no período analisado. Na verdade, estes instrumentos não são piezômetros e sim indicadores de nível d'água: 24LI021, 24LI029, 24LI023 e 24LI024. Contudo, conforme documentos intitulados "Relatório de mensal de monitoramento", da Barragem do Fundão, de maio/15 a outubro/15, apresentados à Auditoria-Fiscal do Trabalho em 24/11/2015, estes quatro indicadores de nível de água possuíam sim leituras no período acima citado, conforme mostra a Tabela 8:

Tabela 8 - Leituras dos instrumentos de monitoramento do nível de água MAI/15 a OUT/15

| Seção | PI / LI | Maio/15 | Jun/15 | Jul/15 | Ago/15 | Set/15 | Out/15 | Observações |
|-------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|
| BB | 24PI044 | 819.38 | 818.44 | 818.93 | 818.45 | 819.08 | 818.83 | Piezômetro chave ¹³ |
| | 24LI019 | 808.80 | OK | OK | OK | OK | OK | |
| DD | 24PI047 | 805.81 | 805.75 | 805.72 | 805.64 | 805.58 | 805.55 | Piezômetro chave |
| | 24PI045 | 808.09 | 808.05 | 808.00 | 807.90 | 807.93 | 807.86 | |
| | 24LI021 | 805.22 | 805.21 | 805.12 | 805.02 | 804.96 | 804.93 | |
| | 24LI029 | 800.83 | 801.13 | 801.08 | 801.00 | 800.73 | 800.67 | |
| FF | 24PI048 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24PI049 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24PI050 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24LI022 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24LI030 | 796.11 | 795.89 | 795.65 | 795.85 | 795.84 | 795.86 | |

¹³ Piezômetro chave é aquele que tem maior sensibilidade à maioria das anomalias e é instalado na fundação, abaixo do tapete drenante, a jusante do dreno vertical.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| | | | | | | | | |
|----|---------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| HH | 24PI051 | Sem Leitura | | | | | | Piezômetro chave |
| | 24PI052 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24PI053 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24LI023 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24LI024 | 792.07 | 792.10 | 792.07 | 792.06 | 792.07 | 792.05 | |
| JJ | 24PI054 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24PI055 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24PI056 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24LI025 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| LL | 24PI057 | Sem Leitura | | | | | | Piezômetro chave |
| | 24PI058 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24PI059 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24LI027 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| MM | 24PI060 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 24LI028 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |

Legenda:

Célula vermelha: nível de emergência

Célula laranja: nível de alerta

Célula amarela: nível de atenção

PI: Piezômetro

LI: Indicador de nível d'água

Divino e Fusaro (2006, apud CASTRO, 2008) informam que para que seja possível identificar comportamentos anômalos tanto das estruturas quanto dos próprios instrumentos é importante que haja a definição de faixas de valores aceitáveis para cada instrumento. São estabelecidos valores-limites para as medidas por meio de métodos determinísticos, estatísticos ou híbridos. A conjugação de informações obtidas por estes métodos pode levar ao estabelecimento de faixas de atenção e de alerta úteis no monitoramento contínuo de segurança da barragem.

Um programa de auscultação de barragens pressupõe a determinação de valores previstos para as grandezas de interesse com base nos critérios de cálculos adotados e sempre que



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

possível deve estar associado a valores ou níveis de projeto e ou critérios para a confrontação com os observados (LINDQUIST, 1983, apud MACHADO, 2008).

Para Machado (op. cit.), a análise dos dados é uma etapa que tem como objetivo a organização, verificação da consistência e a avaliação dos dados coletados. Após a comparação das leituras com os valores de controle, podem ser analisados os cenários obtidos: normal, de atenção e de alerta.

Um plano de instrumentação sem a correspondente análise periódica e interpretação sistemática dos resultados é inútil, ou mesmo nocivo, na medida em que pode causar uma falsa sensação de segurança em relação ao empreendedor (CRUZ, 1996, apud MACHADO, 2008). Não executar qualquer uma destas fases a tempo é equivalente a não ter a instrumentação.

Machado (op. cit.), por fim, aponta que a instrumentação só será eficiente se existirem hipóteses de cálculo para interpretação dos resultados. Se assim não for, as informações obtidas serão vistos como valores pontuais, e nunca como uma informação comprobatória de um determinado comportamento esperado.

De acordo com Galvão Sobrinho (2014), a instrumentação de auscultação implantada em barragens de rejeitos tem por finalidade avaliar o real comportamento dos rejeitos quanto ao desenvolvimento de deformações e de pressões intersticiais, obter dados de deslocamento, tensão total, vazão, nível d'água e comparar estes dados obtidos através de leituras periódicas aos respectivos valores de controle, máximo e mínimo, especificados nos critérios de projetos. Para que as leituras sejam confiáveis é necessário que os instrumentos tenham sido calibrados e instalados corretamente, e uma vez instalados, não venham sofrer quaisquer avarias que os prejudiquem.

Verificamos que, no caso da BRF, vários piezômetros e indicadores de nível d'água apresentavam, em 2015, valores acima dos níveis normais citados na Carta de Risco elaborada pela empresa GEOFAST em 2013, alguns até mesmo acima do nível de emergência. Contudo, nenhuma medida contundente foi tomada pela Samarco com o intuito de diminuir o nível d'água da barragem nos citados pontos.

Apesar de a empresa VOGBR ter recomendado de forma recorrente que a Carta de Risco elaborada pela GEOFAST fosse revisada em 2013, 2014 e 2015, até o dia do rompimento da barragem ainda não tinha ocorrido tal revisão.



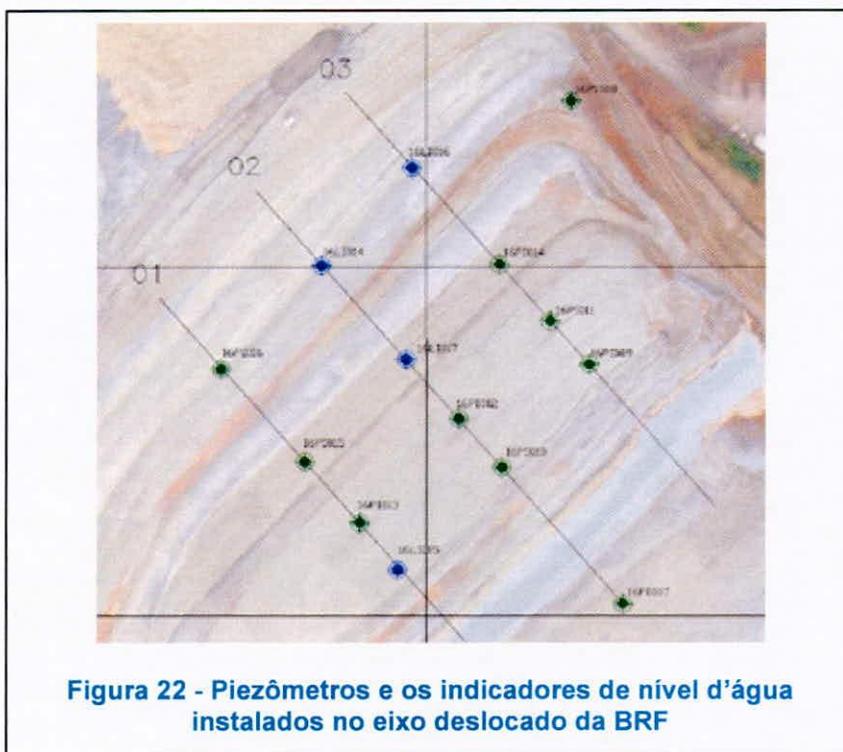
MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Tal situação prejudicava a análise dos níveis d'água apresentados pelos instrumentos de monitoração instalados. Embora a Samarco tenha instalado outros inúmeros piezômetros e indicadores de nível d'água na BRF, estes não constavam na carta de risco e, portanto, não possuíam os respectivos níveis de referência (normal, atenção, alerta e emergência). Por estes motivos, tais equipamentos **não foram considerados** nas inspeções de segurança regulares realizadas pela VOGBR.

Podemos citar os piezômetros e os indicadores de nível d'água instalados no eixo deslocado e não citados na carta de risco, conforme Figura 22:



De acordo com o relatório de monitoramento dos instrumentos, de 2014 em diante, quase todos apresentaram aumento no nível d'água, apesar do decréscimo nos índices pluviométricos no mesmo período. Dentre eles citamos: 16LI017, 16PI014 e 16PI008 - Figuras 23 a 25 a seguir.

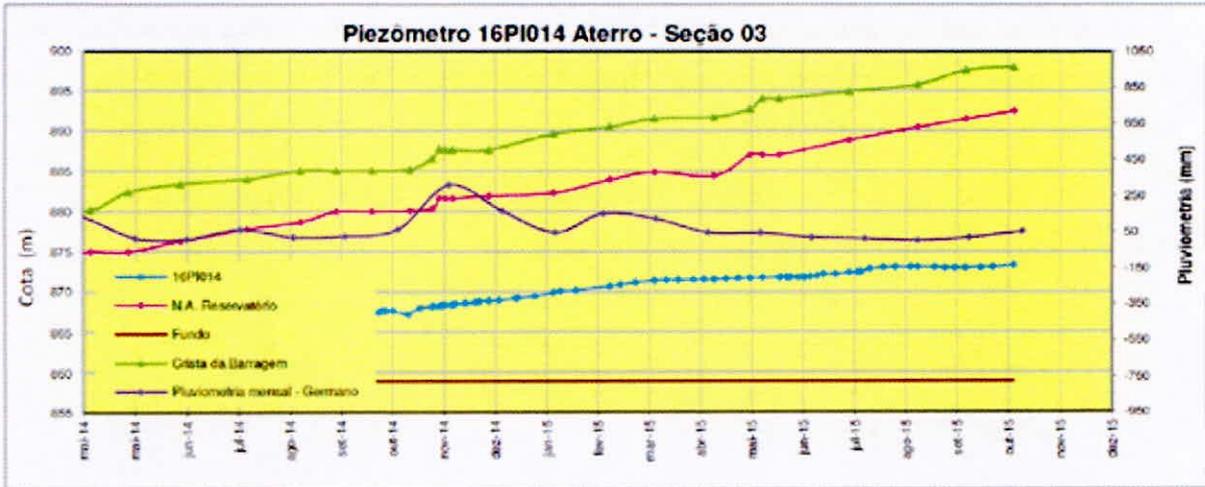


Figura 23 - Indicador de Nível d'água 16LI017 - Aterro Seção 2 - ABR/2014 a OUT/2015

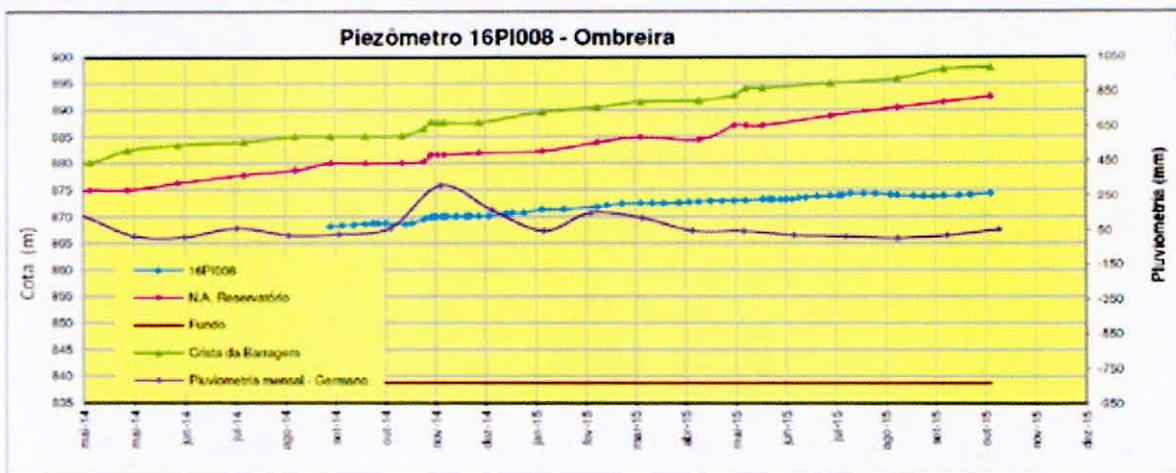


Figura 24 - Piezômetro 16PI014 - Aterro Seção 03 - ABR/2014 a OUT/2015



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

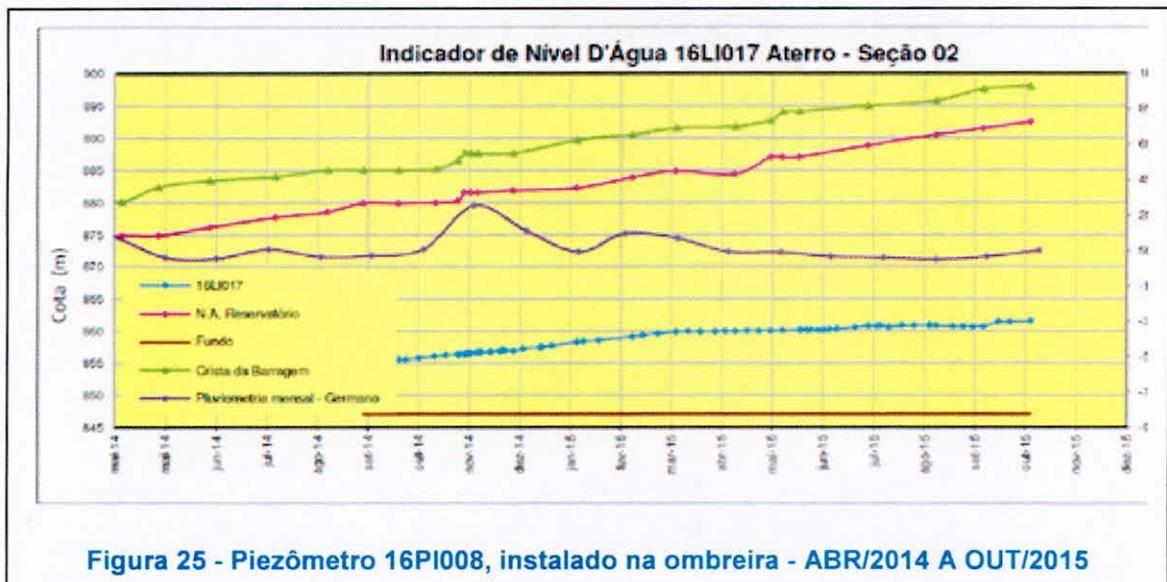


Figura 25 - Piezômetro 16PI008, instalado na ombreira - ABR/2014 A OUT/2015

Diante da inércia da Samarco em revisar a carta de risco, inúmeras leituras de instrumentos ficaram sem a devida análise por parte da empresa VOGBR, ficando então prejudicada a eficácia do monitoramento da barragem.

Além disso, alguns piezômetros chave definidos na carta de risco, como o 24PI051, para a seção HH, e o 24PI057, para a seção LL, não apresentavam leituras, provavelmente por estarem danificados.

6.7.3 Manutenção da estrutura da BRF

No período de 2013 a 2015, a empresa VOGBR foi a responsável pela elaboração do relatório técnico de segurança regular da BRF. Vejamos as irregularidades citadas por esta empresa que apontam para a falta de manutenção frequente por parte da Samarco.

6.7.3.1 Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR, Dique 1, de 2013 (documento SAMARCO G001624-O-1RT062)

Dentre as irregularidades apontadas no relatório citado podemos destacar:

a) Erosões em taludes – Figuras 26 e 27

Página 53

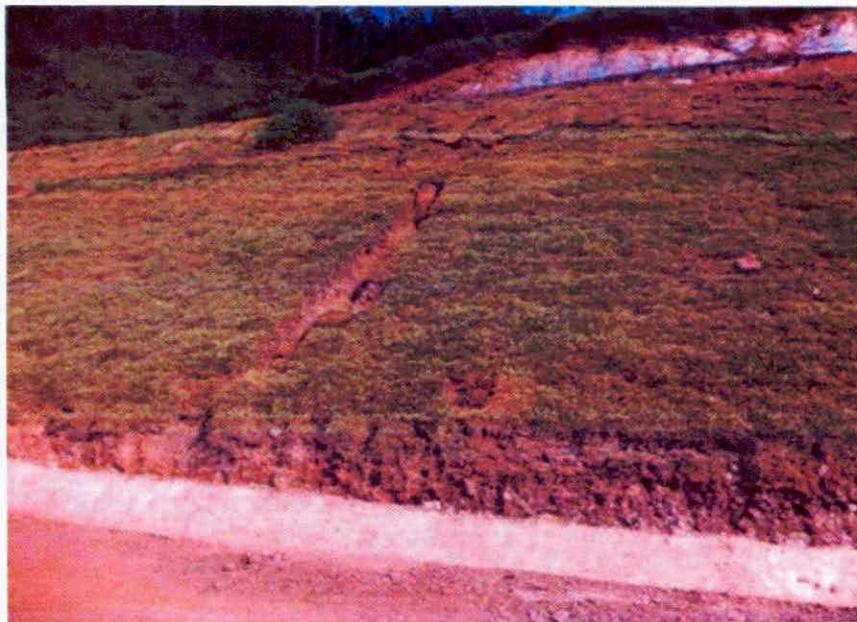


Figura 26 - Erosões em taludes I



Figura 27 - Erosões em taludes II

b) Trincas em canaletas de drenagem e necessidade de correção de declividade transversal das bermas de forma a conciliá-las com as estrutura de drenagem:

[Handwritten signatures]



c) Na bermã onde se encontravam os tubos tipo *Kananete*, que fazem a interligação da drenagem interna com uma tubulação coletora, um dos tubos não estava interligado, lançando a água direto sobre a mesma – Figura 28:



Figura 28 - Falta de interligação na tubulação coletora

d) Acúmulo de água na bermã da El. 820m em decorrência da falta de ligação na tubulação coletora.– Figura 29:



Figura 29 – Acúmulo de água na bermã El. 820m



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Das seis recomendações apontadas pela VOGBR, podemos destacar:

“Nº 2- Talude de jusante: acertar as irregularidades geométricas pontuais e revegetar as áreas desprotegidas do talude de jusante do Dique 1 e ombreira direita”.

“Nº. 5- Drenagem superficial. Concluir a implantação do projeto executivo do sistema de drenagem superficial. Reparar trincas nas canaletas já existentes”.

“Nº. 6 - Revisar a carta de risco (Dique 1)”.

6.7.3.2 Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR, Dique 1, de 2014 (documento SAMARCO G001627-O-1RI002)

Das irregularidades apontadas podemos destacar:

a) Necessidade de revegetação em alguns taludes – Figura 30:



Figura 30 - Talude com necessidade de revegetação

b) Surgência no talude de jusante entre as bermas El. 851.86 e El. 855.43. A Figura 31 mostra a tentativa de correção da irregularidade – surgência:

[Handwritten signatures]



Figura 31 - Tentativa de correção da irregularidade - surgência

c) Erosões em talude a jusante – Figura 32:



Figura 32 - Erosões em talude



d) Trincas nas canaletas de drenagem – Figura 33:



Figura 33 - Trincas nas canaletas de drenagem

e) Ausência de canaleta em berma – Figura 34:



Figura 34 - Ausência de canaleta em berma



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

f) Necessidade de correção de declividade transversal das bermas de forma a conciliá-las com as estrutura de drenagem.

g) Na ombreira direita, o canal periférico encontrava-se obstruído na bacia de dissipação –
Figura 35:



Figura 35 - Obstrução na bacia de dissipação

Das onze recomendações constantes do relatório podemos destacar:

“N ° 2- *Drenagem superficial. Desobstruir, reparar trincas e recompor as canaletas que apresentam problemas*”.

“N ° 6- *Ajustar a geometria das bermas de forma a garantir uma declividade transversal com o sentido do fluxo para as canaletas de drenagem construídas nas bermas*”.

“N ° 7- *Realizar a implantação da proteção vegetal nos taludes de jusante nos pontos onde foi observada sua ausência*”.

“N ° 10 -*Realizar os ajuste geométricos nos taludes de jusante, de maneira geral, além de recompor e revegetar os trechos erodidos*”.





**6.7.3.3 Relatório Técnico de Segurança Regular elaborado por VOGBR, Dique 1, 2015
(documento SAMARCO G001600-O-1RI002)**

Das irregularidades apontadas no relatório podemos destacar:

a) Necessidade de revegetação (grama) em alguns taludes – Figura 36

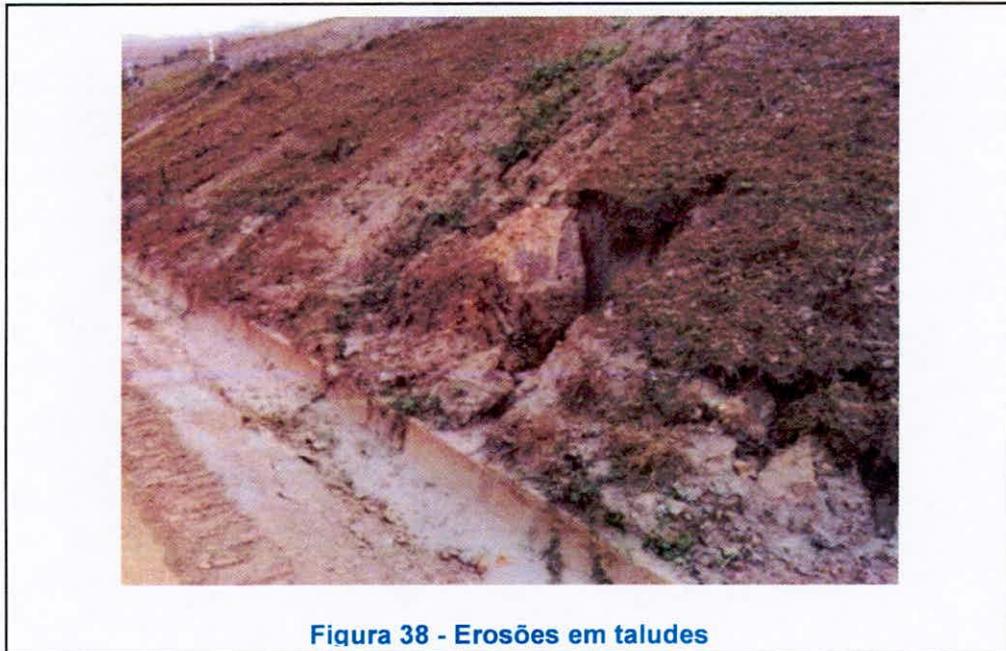


b) Surgência na ombreira direita entre as bermas El. 851.86 e El. 860.00. Tentativa de tratamento da surgência conforme Figura 37:





c) Erosões em talude a jusante – Figura 38:



d) Presença da vegetação natural em talude a jusante, necessitando ocorrer poda.

e) Necessidade de correção de declividade transversal e longitudinal das bermas de forma a conciliá-las com as estruturas de drenagem – Figura 39:





e) Canaletas de drenagem quebradas - Figura 40:



Figura 40 – Canaletas de drenagem quebradas

f) Ausência de canaleta em berma – Figura 41:

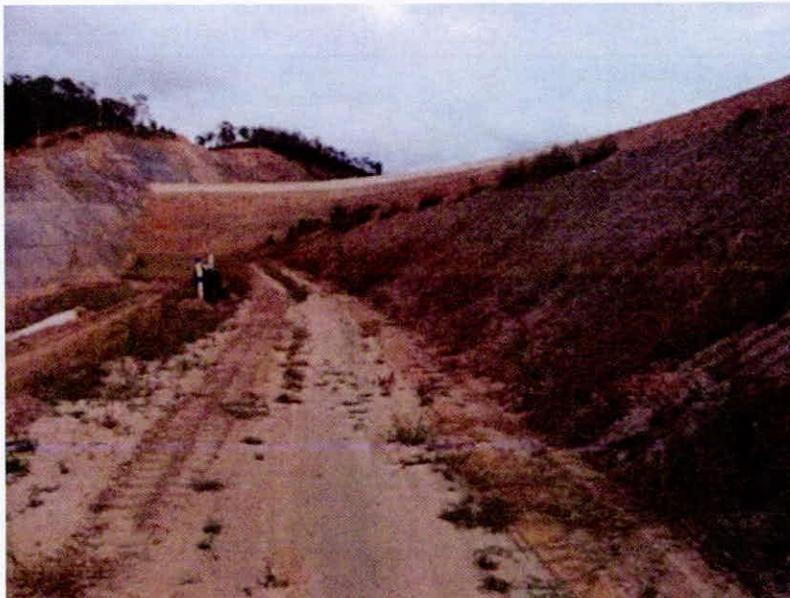


Figura 41 - Berma sem canaleta de drenagem



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

- g) No pé de talude de jusante há um dreno de pé, sendo sugerida a drenagem do acúmulo de água – Figura 42:



Figura 42 - Acúmulo de água no pé do talude

- h) Na ombreira esquerda, na elevação da saída do dreno em Kananetes, saturação do talude, sendo provável que esta seja devida à percolação do maciço; (grifo nosso) – Figura 43:



Figura 43 - Saturação do talude



i) Erosão no acesso da ombreira direita e a jusante do canal periférico – Figura 44:



Das doze recomendações constantes do relatório podemos destacar:

“N ° 2 *Drenagem superficial. Desobstruir, reparar trincas e recompor as canaletas que apresentam problemas*”.

“N ° 3 *-Realizar ensaios triaxiais para aferição dos parâmetros e revisar a carta de risco (Dique 1), contemplando todas as seções instrumentadas, para seção atual e futura*”.

“N ° 5 *-Manter a poda da vegetação nas bermas e nos taludes jusante*”.

“N ° 6 *-Ajustar a geometria das bermas de forma a garantir um declividade transversal com o sentido do fluxo para as canaletas de drenagem construídas nas bermas. Esta ação deverá permitir o correto direcionamento das drenagens pluviais*”.

“N ° 7- *Realizar a implantação da proteção vegetal nos taludes de jusante nos pontos onde foi observada sua ausência*”

“N ° 8 *-Realizar obras de prolongamento do canal periférico da ombreira direita (canal que recebe vazão dos drenos da El. 826m)*”.

“N ° 11 *-Realizar os ajuste geométricos nos taludes de jusante, de maneira geral, além de recompor e revegetar os trechos erodidos*”.



Em 09/10/2014, foi lavrado pelo Eng. Alder Marcelo de Souza, da FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente, da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, o auto de fiscalização Nº 49081/2014. Do relatório do auto de fiscalização lavrado podemos destacar:

“Foram identificados alguns focos erosivos em pontos específicos no talude de jusante da Barragem do Fundão que deverão ser tratados conforme o programa de manutenção e monitoramento definido pela empresa”.

“Foi verificada também a obstrução de algumas canaletas de drenagem superficial que deverão ser limpas antes do início do período chuvoso”.

Diante do acima citado, verifica-se que os problemas de manutenção se repetem ano após ano, deixando transparecer que a manutenção das estruturas que compunham a BRF não ocorria de maneira satisfatória, contribuindo então para fragilizar a barragem como um todo.

6.7.4 Manutenção dos instrumentos de monitoramento do nível d’água

Em 2014, os dados coletados dos piezômetros de leitura automática eram enviados para a Samarco através de equipamentos com tecnologia *wireless* e radiofrequência.

Cada instrumento estava interligado a um transmissor *wireless*. Todos os transmissores estavam interligados através de uma rede HART, a partir da qual eram enviados os dados coletados pelos piezômetros. Os transmissores eram interligados a repetidores, que por sua vez, enviavam os sinais coletados a um *gateway*¹⁴. Os repetidores operavam em redundância por meio da “Linha inferior” e “Linha superior”. O *gateway* era interligado via rádio até o sistema de monitoramento da Samarco.

A instalação e a manutenção dos equipamentos de transmissão de dados (transmissores e repetidores) dos instrumentos de monitoramento até a *gateway* era realizada pela empresa MGA Automação Industrial. Já a responsabilidade pela instalação e manutenção dos instrumentos e do sinal da *gateway* até a unidade física da Samarco cabia somente a esta.

A empresa MGA atuava na Samarco sob demanda, isto é, somente comparecia à Mina de Germano quando era solicitada pela Samarco. Em 2014, houve demanda de manutenção

¹⁴ Equipamento destinado à interligação de redes de dados.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

do sistema de transmissão em todos os meses, exceto maio e novembro. Em 2015, a MGA esteve na Mina de Germano em Março, Abril, Junho e Julho.

Após cinco meses sem demanda, a MGA foi chamada para dar uma revisão geral nos equipamentos de transmissão de todas as barragens da Mina de Germano, com início dos trabalhos em 03/11/2015. Segundo Relatório Diário de Obras (RDO), em reunião ocorrida com a Samarco no dia 03/11, a MGA deveria dar prioridade aos equipamentos da BRF.

Segundo depoimento do Sr. Alysson Tornelli, empregado da MGA, no dia 03/11/2015, ou seja, dois dias antes do acidente, a linha inferior de repetidores da BRF estava sem comunicação. Como a linha superior deveria ser retirada por causa das obras de alteamento, a MGA foi chamada para colocar a linha inferior no ar novamente. Esses serviços foram executados em 03/11/15. Segundo o Sr. Alysson Tornelli, a Samarco já estava estudando o melhor local para instalação dos repetidores da linha superior que precisou ser desativada.

Uma das demandas da Samarco era realização por parte da MGA de um "pente fino" nos instrumentos, registrando inclusive a profundidade de cada um. Segundo o Sr. Alysson, a Samarco teria "perdido" esses dados.

Nos dias 04 e 05/11/15, ocorreu a manutenção nos transmissores de dois piezômetros (24PI062 e 24PI061). Estes dois PI tiveram a bateria trocada, porém não estavam listados na carta de risco de 2013. Neste período também foi executada a manutenção de 11 indicadores de nível de água (24LI007, 24LI005, 24LI003, 24LI0011, 24LI001, 24LI008, 24LI027, 24LI025, 24LI023, 24LI022, e 24LI021).

Dos 25 equipamentos de leitura automática instalados na BRF, apenas 13 tiveram a revisão executada pela MGA Automação até o dia acidente. Logo, não se pode concluir sobre a totalidade de instrumentos estavam funcionando adequadamente até o dia do acidente.

6.7.5 Praia de rejeitos

O documento (sem número Samarco) "ATUALIZAÇÃO DO MANUAL DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REJEITOS DO FUNDÃO – ANO 2012", elaborado pela empresa Pimenta de Ávila Consultoria Ltda estabelece que deve ser deixada uma praia de rejeitos arenosos de no mínimo 200 metros, conforme abaixo:



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

“A instalação de novos “stop-logs” deverá ser feita de modo que o nível da água do lago nunca avance sobre a faixa mínima de segurança de 200m, a montante do Dique 1. A violação da praia de 200m será considerada falha operacional grave, para tanto, o espigotamento (disposição) dos rejeitos arenosos deverá ser efetuado de modo controlado e de modo a manter a praia de rejeitos com a maior extensão possível. É desejável que a praia avance o máximo possível de modo a manter a lama afastada”.

Conforme se apurou em planilhas apresentadas à Auditoria Fiscal do Trabalho em 24/11/15, (documento Samarco GOO1625-K-1RT003), a praia C de rejeitos (ombreira esquerda) estava com 100,54 m, em 06/10/15. Em 14/10/15, a praia C apresentava largura de apenas 186,95 m e, em 21/10/15, 192,99 m. Somente em 28/10/2015, a praia C voltou à faixa de segurança acima de 200m (294,6 m). Verifica-se então operação recente da BRF com grave falha operacional.

Muitas rupturas ocorridas em barragens construídas por este método (alteamento a montante) são atribuídas à separação inadequada entre o lago de decantação e a crista. A estabilidade das barragens alteadas à montante será ditada pelo avanço do lago de decantação, pois este avanço poderá elevar a superfície do nível freático no corpo da barragem, fazendo com que surja água em partes altas no talude de jusante da barragem e possibilite o estabelecimento do processo de *Piping* – Figura 45a. A Figura 45b ilustra praias com baixa segregação dos rejeitos lançados que apresentam normalmente baixa permeabilidade, ocasionando a elevação do nível freático no corpo da barragem, podendo neste caso, também ocorrer *piping*, devido à surgência d’água no talude de jusante da barragem (CASTRO, 2008).

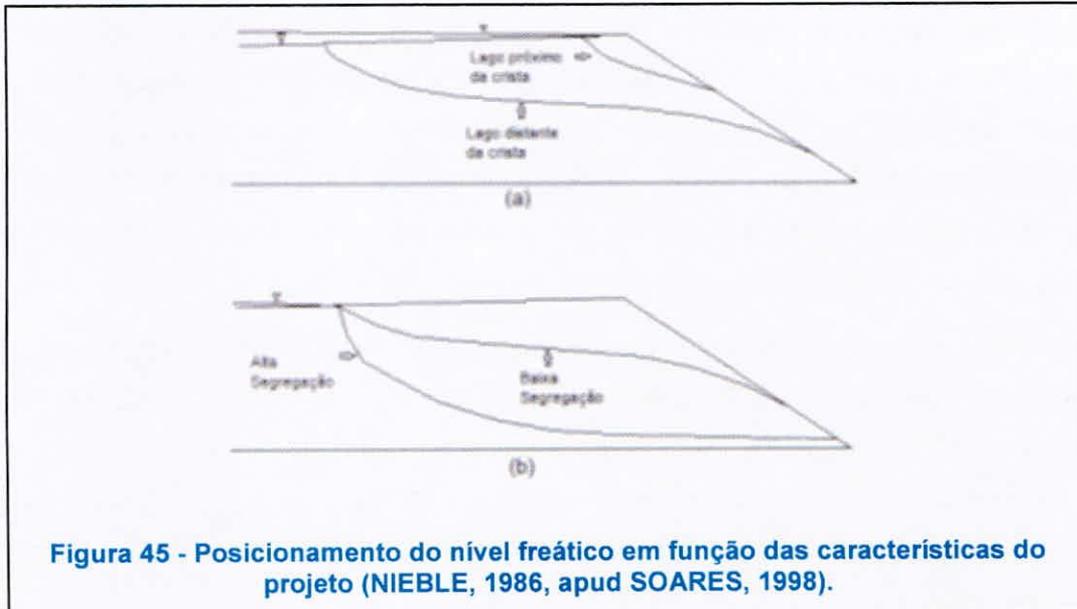


Figura 45 - Posicionamento do nível freático em função das características do projeto (NIEBLE, 1986, apud SOARES, 1998).

Galvão Sobrinho (2014) cita o uso do rejeito como material construtivo mais econômico, no entanto, entre algumas desvantagens estão a sua alta susceptibilidade a formação interna de *piping*, a alta erodibilidade da superfície e alta probabilidade de liquefação sobre carregamentos dinâmicos ou mesmo estáticos.

Segundo Galvão Sobrinho (op.cit.), a estabilidade destas obras é também ditada pelo avanço do lago de decantação, que pode elevar a superfície do nível freático no corpo da barragem, fazendo a água atingir as partes altas do talude de jusante da barragem, possibilitando o estabelecimento do processo de entubamento (*piping*). Por fim o autor cita que, normalmente, praias com baixa segregação dos rejeitos lançados e baixa permeabilidade, ocasionam a elevação do nível freático no corpo da barragem, podendo, neste caso, também ocorrer entubamento causado pela surgência d'água no talude de jusante da barragem, conforme Figura 46:

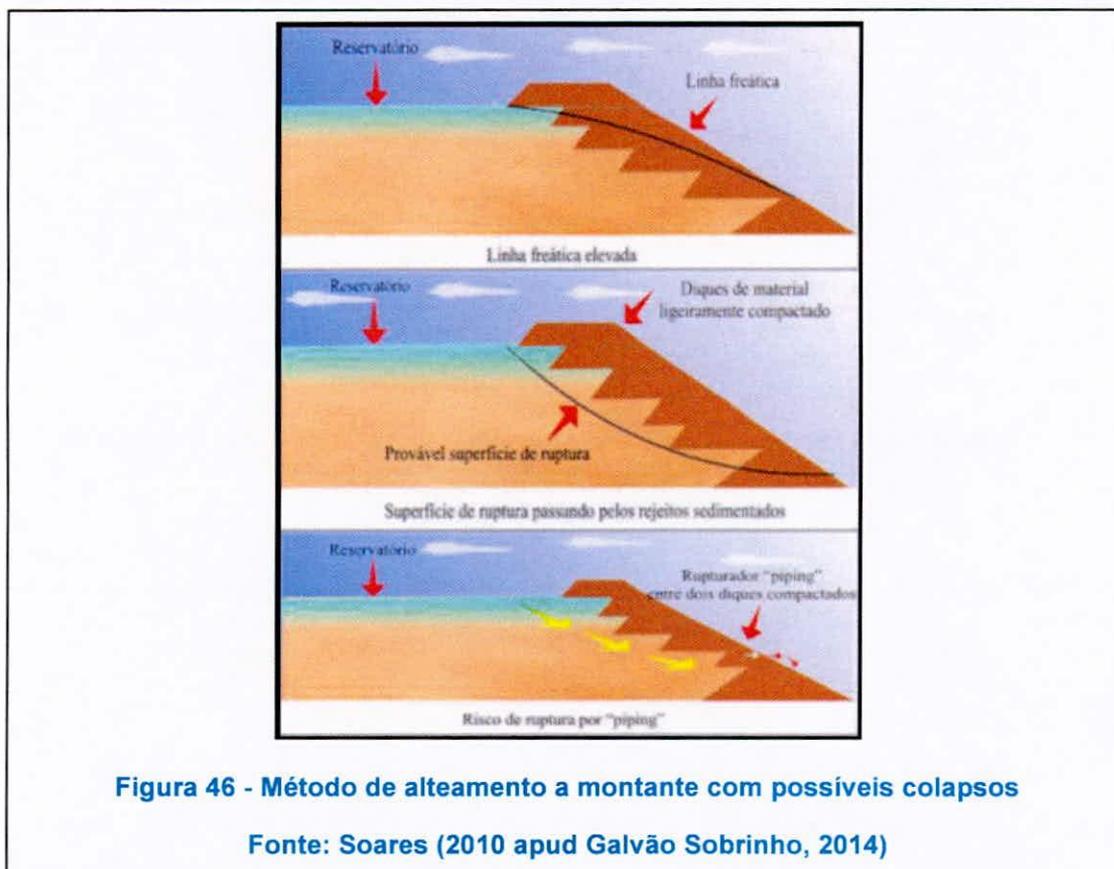


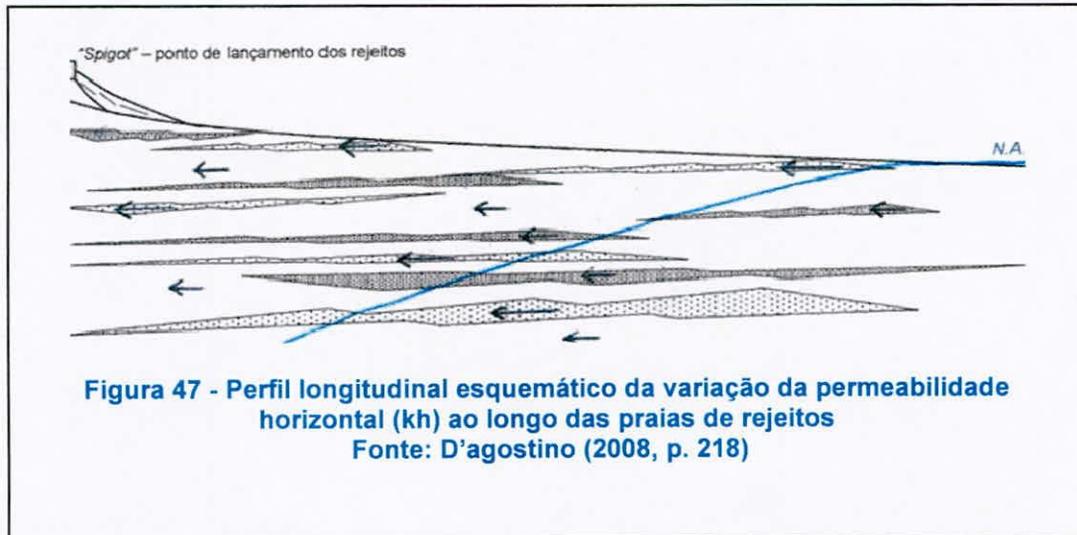
Figura 46 - Método de alteamento a montante com possíveis colapsos

Fonte: Soares (2010 apud Galvão Sobrinho, 2014)

D'agostino (2008) relata que nas praias de rejeitos predominam canais de transporte que migram ativamente, transportando e erodindo a superfície do terreno à medida que recebem material do ponto de lançamento da polpa. O depósito de rejeitos não ocorre de maneira laminar uniforme. Este padrão de erosão e transporte, que gera as irregularidades observadas, é importante do ponto de vista geotécnico. Nas situações em que o material a ser lançado não é homogêneo, seja em granulometria ou mineralogia, a constante dinâmica de variação da posição dos canais de transporte pode formar paleo-vales. Estes, após sucessivos processos de deposição (alteamentos), possibilitam a formação de lentes e/ou canais com variação de permeabilidade conforme Figura 47. Esta variação de permeabilidade, mesmo que pequena, pode resultar em caminhos preferenciais de percolação no maciço alteado e este padrão poderia explicar, teoricamente, os inúmeros casos de *pipings* relatados em barragens de rejeitos, responsável por 25% dos acidentes.



Nesta figura os comprimentos dos vetores demonstram a variação de $[kh]$ em função da camada atravessada.



6.7.6 Surgências

A BRF apresentou surgências em taludes nos anos 2013, 2014 e 2015, conforme citado pela empresa VOGBR em seu relatório de inspeção de segurança regular da BRF em 2015, *in verbis*:

“Em agosto de 2013 apareceu uma surgência na El. 855m, na ombreira esquerda do Dique 1, a qual foi tratada com um dreno. Posteriormente, em novembro de 2013, foi identificada uma nova surgência na mesma ombreira. O evento ocorreu no talude da berma de El. 860m, ocasionando saturação na face do talude e desmoronamento localizado. Houve surgimento de trincas longitudinais que facilitou o desmoronamento. Novamente a região foi tratada com outro dreno, sendo este conectado ao que foi executado na El. 855m. Os drenos executados não são vistos, mas deságuam em um canal aberto protegido com geotêxtil. Este canal desaparecerá quando o eixo for retificado.

Em março de 2014 foi solicitado pela SAMARCO o alinhamento das atividades do projeto para complementação da drenagem interna, visando o alteamento da estrutura até a El. 940m, sendo a VOGBR responsável pelo dimensionamento de um sistema de drenagem interna que fosse capaz de captar e conduzir com segurança a nova vazão de projeto.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Durante as inspeções periódicas, foram detectadas duas pequenas surgências na ombreira direita do Dique I. A primeira foi identificada no final de 2014, na EI. 850m, e a segunda identificada em janeiro de 2015 na EI. 855m.”

O ITRB (*Independent Tailings Review Board*), comitê contratado pela Samarco para avaliar as suas barragens de rejeitos, aponta em seu relatório, de 20 de novembro de 2014, uma surgência com artesianismo e quantidade significativa de fluxo observada no dia 27 de agosto de 2014, a jusante do pé da barragem de Fundão, próximo ao centro do vale na margem esquerda do córrego, conforme Figura 48.



Figura 48 - Surgência com pressão observada no pé jusante da BRF

6.7.7 Trincas

O item 13.2 do relatório do ITRB informa sobre a ocorrência de trincas no dia 26 de agosto de 2014 na área de afastamento do eixo da BRF próximo à ombreira esquerda em área com desnível de 20m. Estas trincas se abriram na crista da barragem, estendendo-se à praia e às bermas e faces do talude jusante – linhas arroxeadas na Figura 47. Na plataforma inferior (pé do talude) foi observado um levantamento do terreno em padrão linear.


Página 71

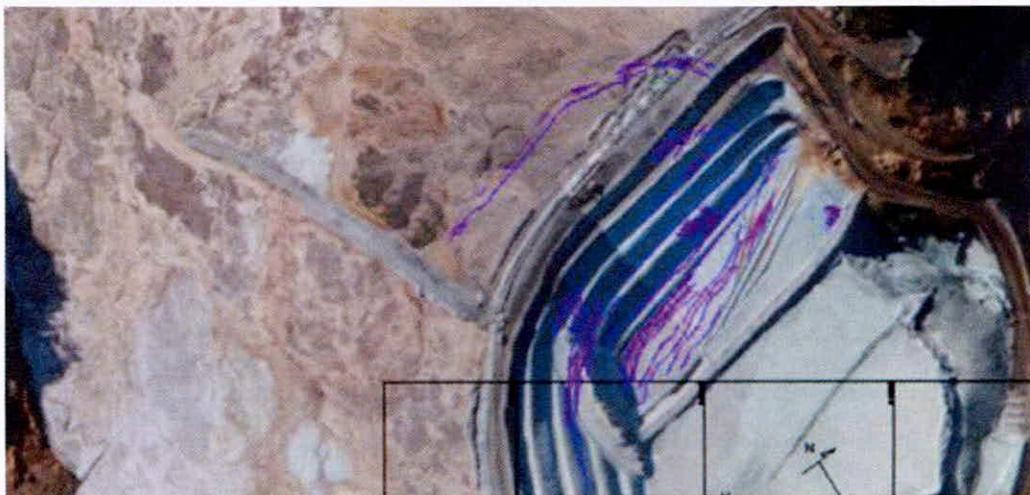


Figura 49 - Trincas observadas em 27/08/2014 em destaque

A Figura 50 mostra uma trinca na crista da BRF no sentido do reservatório.



Figura 50 - Trinca na crista do talude



A Figura 51 apresenta uma série de trincas na face do talude de cota 885:



Figura 51 - Trincas na face do talude cota 885

A Figura 52 mostra uma trinca na berma 880, atingindo 7cm e caracterizando tração:



Figura 52 - Trinca na berma 880, atingindo 7cm

[Handwritten signature] *[Handwritten signature]*
Página 73



A Figura 53 mostra trincas e saturação no platô El. 863:



Figura 53 - Trincas e saturação no platô El. 863

A Figura 54 mostra saturações de pé na berma El. 863:



Figura 54 - Trincas e saturações no platô El. 863

O relatório do ITRB cita um trabalho de retroanálise e avaliação da construção realizado pela Samarco buscando explicar o mecanismo da ruptura ocorrida na barragem. As lições aprendidas, segundo a retroanálise, foram:

- *“Uma ruptura circular passando pelo rejeito, abaixo da região compactada dos diques de alteamento pode explicar as observações de campo”;*



- “O deslocamento do eixo levou a construção dos diques de alteamento sobre área de material de possível menor resistência, e com superfície freática mais elevada na área de ruptura”;
- “A retroanálise concluiu que a resistência mobilizada ($FS=1$) neste caso seria representada por c (coesão)=0 e ϕ (ângulo de atrito)=28°. Reconhece-se o valor da retroanálise como ferramenta de calibração dos parâmetros de resistência utilizados nos projetos.” (ITRB, 2011)

Em 11/02/2016, a Samarco apresentou à Auditoria Fiscal do Trabalho do MTPS slides retratando as trincas que ocorreram na BRF, ombreira esquerda em agosto de 2014, relatadas pelo ITBR. As imagens mostram grandes trincas na região do recuo da barragem, em algumas bermas, na crista da barragem, chegando até a praia da BRF.

Em razão das trincas que afetaram a BRF, o ITRB recomendou que as análises de estabilidade fossem refeitas, assumindo coesão igual a 5 kPa e ângulo de atrito igual a 28° para o rejeito arenoso. Assim, o parâmetro “ângulo de atrito” para o rejeito arenoso cairia 7°. Esta diminuição acarretaria uma mudança no valor obtido para o fator de segurança de estabilidade da BRF. Aquele calculado pela empresa VOGBR em 2015, igual a 1,68, provavelmente seria inferior a 1,50, conforme estabelece a norma brasileira sobre o tema.

Tais fatos revelam problemas de percolação de água dentro do reservatório da BRF, elevando assim a linha freática, provocando surgências, ruptura nos diques de alteamento e, por consequência, fragilizando a segurança do reservatório.

6.7.8 Alteamentos

A Samarco apresentou informações sobre como estariam ocorrendo os alteamentos dos diques na BRF a partir de janeiro de 2014. Conforme análise das informações, em janeiro de 2014, segundo a topografia da Samarco, a cota da crista da BRF estava na El. 876m e em dezembro de 2014 já se encontrava na El. 888,50m, isto é, ocorreu um alteamento de 12,50m durante o ano 2014. Em janeiro de 2015, a cota da crista estava na El. 889,50m, e em 27/10/2015, já havia ponto com cota igual a 900m. Logo, em 10 meses, a cota foi elevada em 10,50m.



Segundo Vick (1983), citado por Castro (2008), um aspecto importante que afeta diretamente a segurança das barragens, diz respeito à velocidade do alteamento, que está condicionada às propriedades do rejeito. Uma velocidade de alteamento elevada não permitira um adensamento adequado do material que irá compor o corpo da barragem. Neste contexto, Nieble (1986) sugere gradiente de elevação das barragens da ordem de 5 a 10 metros/ano.

Galvão Sobrinho (2014) aponta que velocidade de alteamento fica condicionada às propriedades dos rejeitos, visto que a segurança da barragem depende da resistência mobilizável dos rejeitos, que é condicionada pelas pressões neutras. Estas pressões estão relacionadas à velocidade de aumento das sobrecargas provocado pela velocidade de alteamento da barragem e pela velocidade de dissipação das pressões neutras.

O grande volume de rejeito de mineração gerado diariamente acaba por forçar a otimização dos processos construtivos dos depósitos. Assim sendo, é requerida da operação das barragens uma maior velocidade de construção dos alteamentos. Em muitas situações, essa operação ocorre com insuficiente conhecimento do comportamento dos rejeitos. Os agravantes da construção incluem a saturação dos maciços e os desvios ao atendimento dos procedimentos de operação (REZENDE, 2013).

Soares (1998), apud Castro (2008), também aponta que uma das restrições da barragem elevada à montante refere-se ao seu alteamento, sendo recomendado entre 5 a 10 metros/ano.

Assim, observa-se que a Samarco assumiu o risco de realizar o alteamento da BRF com taxa superior a 10 metros/ano.

6.7.9 Vibrações e Liquefação

Conforme citado anteriormente, diferentemente de modelos conceituais simplificados, que apontam zonas de maior permeabilidade próximas ao ponto de lançamento e progressivamente menores à medida que se afastam, existe um modelo mais complexo de permeabilidade, em que não é possível delimitar zonas de permeabilidade, mas sim extratos ou camadas. A geometria complexa apresentada permite a formação de aquíferos



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

suspensos, em lentes como visto na Figura 45 apresentada anteriormente. Desse modo tal situação pode explicar a dificuldade de expulsão da água com os sucessivos carregamentos e, assim, contribuir no processo de liquefação, que corresponde à cerca de 50% dos acidentes em barragens de rejeitos (ARNEZ, 2004, apud D'AGOSTINO, 2008).

Conforme explica Galvão Sobrinho (op. cit.), a liquefação pode ser basicamente entendida como sendo uma ação de levar qualquer substância de seu estado natural ao estado fluido e, no caso dos solos, do estado sólido para o estado liquefeito. Para tal, impõe-se um dado acréscimo da poropressão em concomitância com a redução das tensões efetivas. Esta transformação decorre da brusca aplicação de uma determinada carga, que pode ter origem estática ou dinâmica. Segundo o autor, a liquefação dinâmica, também chamada de liquefação espontânea, está relacionada a carregamentos dinâmicos, particularmente eventos sísmicos. Já a liquefação estática pode estar associada a eventos tais como: elevação do nível d'água em depósitos de materiais granulares; carregamentos rápidos; movimentos de massa na área de influência dos depósitos de materiais granulares; excessos de precipitação pluviométrica e explosões para desmonte do minério.

Castro (op. cit.) aponta que um aspecto colaborador no fenômeno no desencadeamento da liquefação se refere às vibrações por desmonte de minérios, movimentação de equipamentos, bem como tremores causados por abalos sísmicos. A barragem poderá sofrer adensamento ao ser vibrada, causando subpressão e, como consequência, uma ação vertical contribuirá para redução das tensões de cisalhamento, e o rejeito poderá se liquefazer. Neste sentido cabe ressaltar que durante o alteamento da barragem, conforme a velocidade na qual é realizado, a liquefação poderá se desenvolver também, em virtude da interferência sobre o tempo mínimo necessário para dissipação das pressões neutras contidas na polpa de rejeitos lançados e em processo de deposição.

Na BRF estavam ocorrendo obras de drenagem, projetadas pela empresa VOGBR, com o intuito de adequá-la à El. 940m. Uma das obras de drenagem ocorria no trecho de recuo da barragem, El. 860m, junto à ombreira esquerda, denominada Etapa 1. A 1ª fase da Etapa 1 (Figura 55, em azul escuro) foi iniciada em 24/10/2014 e foi concluída em janeiro de 2015. A 2ª fase da Etapa 1 (Figura 55, em azul claro), executada por Skava Minas, foi iniciada em



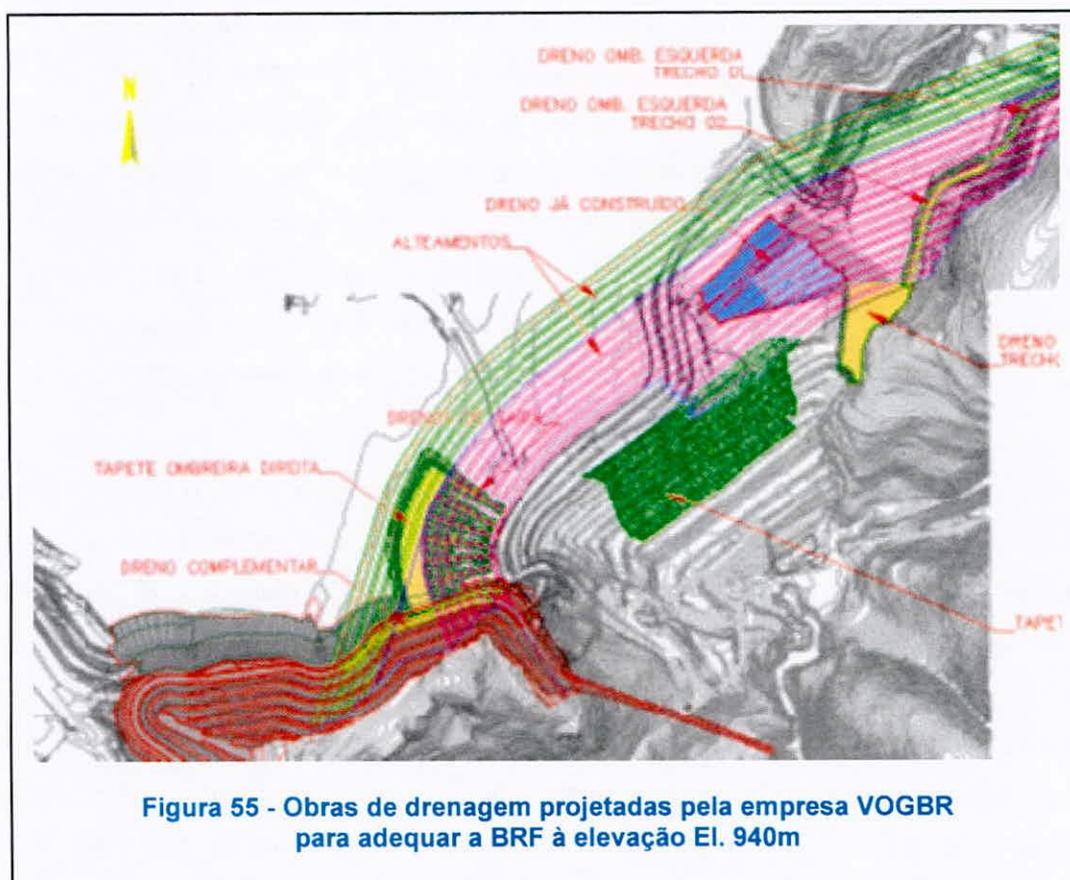
MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

maio de 2015. Esta fase teve o Acompanhamento Técnico de Obra (ATO) pela empresa VOGBR de 29/06/2015 (Figura 56) até 28/08/2015 (Figura 57), conforme informa o último relatório mensal produzido pelo ATO (documento Samarco G001600-O-1RT016).

A partir desta data, a Samarco assumiu a execução dos serviços, com lançamento de rejeito arenoso seco sobre o dreno executado por meio da empresa VIX. Tal lançamento de rejeito seco na região tinha como finalidade retornar a BRF ao seu eixo original, eliminando então com o recuo do eixo executado em 2012.





**Figura 56 - Obra de drenagem na ombreira esquerda - Região do recuo da BRF -
Início das atividades do ATO executado por VOGBR - 29/06/2015**



**Figura 57 - Obra de drenagem na ombreira esquerda, região do recuo da BRF -
Término das atividades do ATO executado por VOGBR, 28/08/2015**



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Durante a execução dos serviços pela Skava Minas foram utilizados os seguintes equipamentos autopropelidos: caminhões basculantes, trator de esteira, escavadeira e caminhão pipa. Durante os serviços de lançamento de rejeito arenoso seco executado pela empresa VIX Logística S.A., terceirizada da Samarco, estavam sendo utilizados caminhões basculantes, trator de esteira, moto-niveladora e caminhão pipa. Estas atividades ocorriam no dia do rompimento da barragem.

Junto à ombreira esquerda, já havia sido executado pela empresa Integral Engenharia o Trecho 1 e o Trecho 2 da Etapa 2 da drenagem, que se refere a drenos instalados sobre o terreno natural. O Trecho 3 tinha programação de início em 05/11/2015. Na obra eram utilizados os seguintes equipamentos autopropelidos: trator de esteira, escavadeira, caminhões basculantes, caminhão *Munck*. (Figura 56, em amarelo).

Estava sendo executado um tapete drenante (*fingers*) junto à ombreira direita, El. 895m. A empresa responsável pela obra era a Integral Engenharia Ltda, que iniciou seus trabalhos em julho de 2015, com término previsto para novembro de 2015. Nesta obra eram utilizados os seguintes equipamentos autopropelidos: trator de esteira, escavadeira, caminhões basculantes. A Integral Engenharia Ltda também estava executando um acesso junto à ombreira direita a ser utilizado pelos caminhões que transportariam rejeito arenoso que seria lançado sobre o dreno que estava em execução. Nesta obra também eram utilizados os seguintes equipamentos autopropelidos: trator de esteira, escavadeira, caminhões basculantes. Por fim, junto à ombreira direita também estavam sendo executadas pela Integral Engenharia escavações (cortes) no terreno natural (Figura 55, em vermelho) para a implantação de dreno complementar, com a utilização de trator de esteira, escavadeira e caminhões basculantes.

Ao mesmo tempo, ocorria o lançamento de rejeito arenoso sobre a crista do Dique 1 para alteamento da BRF, atividade normal dentro do processo produtivo. Estas atividades eram executadas por equipamentos e trabalhadores da empresa VIX, terceirizada da Samarco, sendo utilizados escavadeira e trator de esteira. Para atender a obra do dreno executado junto à ombreira esquerda, foi informado que os caminhões basculantes que transportavam rejeito arenoso acessavam o local transitando pela crista da BRF ou através da berma



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

localizada na El. 840m. No dia do acidente, um trator de esteiras de propriedade da VIX executava serviços na berma da El. 880m.

A Mina de Fábrica Nova, de propriedade da Vale S.A., localiza-se em área contígua à Samarco. Nesta mina, diariamente, ocorrem detonações dos maciços rochosos para a extração do minério de ferro. Segundo o Engenheiro Germano Silva Lopes, a Samarco não chegou a realizar avaliação da magnitude das ondas sísmicas induzidas pela detonação na Mina de Fábrica Nova que chegavam à BRF.

Segundo o Encarregado de Terraplanagem da empresa Integral Engenharia, Sr. Anderson Rigobelo, em depoimento tomado na SRTE-MG em 18/02/2016 pela equipe de fiscalização, o rompimento da barragem começou na região do recuo do eixo, junto à ombreira esquerda. Segundo ele, o pé do talude da El. 860 foi o primeiro que se moveu. Em seguida, o maciço veio se deslocando em direção a jusante, como estivesse *desplacando* (sic).

Já o Sr. Andrew Oliveira, Sinaleiro da Integral Engenharia, durante depoimento tomado na SRTE-MG em 03/03/2016 pela equipe de fiscalização, informou que: "Vi que a barragem se abriu no pé do talude", que corresponde à região do recuo do eixo, El. 860m. "Depois, desceu tudo". Também citou o trabalhador que: "Há algum tempo atrás, vi saindo água do dreno da Skava Minas". Trata-se do dreno executado na região do recuo do eixo, 2ª fase da Etapa 1 (Figura 56), iniciado em maio de 2015.

No mesmo sentido, durante depoimento tomado na SRTE-MG em 03/03/2016 pela equipe de fiscalização, a Sra. Lúcia Aparecida Barbosa, sinaleira da VIX Logística relatou que, no momento do acidente, encontrava-se na base do recuo do eixo El. 860m quando percebeu o solo se movimentando "em camadas" ("tipo escama de peixe"). Saiu correndo em busca de uma posição mais alta ao tempo em que alertava pelo canal de emergência do rádio os demais trabalhadores. Percebeu que a base do talude do recuo do eixo se rompia trazendo consigo as porções superiores.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Castro (op. cit.) aponta que em áreas onde ocorram vibrações, seja de ordem tectônica (sismos naturais) ou motivadas por escavações na mina ou ainda pela passagem de veículos (sismos induzidos), recomenda-se que o alteamento pelo método à montante seja descartado.

Carvalho (1984), citado por Machado (2007), também se manifesta sobre o tema. A susceptibilidade à liquefação de uma barragem pode ser agravada quando ocorrem eventos como abalo sísmico no subsolo, trânsito de equipamentos pesados nas proximidades da barragem ou detonações de explosivos industriais no desmonte de rochas nas proximidades da barragem que se propagam em todas as direções.

As barragens alteadas pelo método à montante, apesar de apresentarem menor custo que as demais, resultam em depósito de menor coeficiente de segurança, sujeito a ruptura pelo fenômeno de liquefação, de difícil antecipação e ocorrência súbita, isto é, sem aviso prévio (OLIVEIRA, 2014).

A propriedade dos solos em suportar cargas e conservar sua estabilidade depende da resistência ao cisalhamento do solo. Toda massa de solo se rompe quando sua resistência é excedida. Quanto à resistência ao cisalhamento das areias, manifesta-se Caputo (1988):

"...outro fenômeno a considerar, que ocorre durante o cisalhamento das areias fofas saturadas, é o escoamento fluido dessas areias, provocado pelo acréscimo da pressão neutra e conseqüentemente decréscimo da resistência ao cisalhamento. A esse fenômeno denomina-se liquefação das areias".

Conforme citado por vários autores, o fenômeno da liquefação é altamente relevante para as barragens de rejeitos alteadas à montante. De acordo com o exposto, inúmeras obras eram realizadas ao mesmo tempo na BRF, com trânsito intenso de caminhões e máquinas de terraplanagem, o que provoca vibração constante em suas estruturas, além das diárias detonações de explosivos que ocorriam na Mina de Fábrica Nova, vizinha à Mina de Germano.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Apesar de o fenômeno da liquefação ser conhecido por parte da Samarco, até o dia do rompimento da BRF, a empresa não havia elaborado estudos de liquefação que pudessem confirmar a condição de segurança do maciço. Apenas quando da elaboração de "Relatório Técnico" pela empresa VOGBR, para elevação das barragens de rejeitos de Germano e do Fundão para a El. 940m, em 22/07/2015 (documento Samarco G002400-G-1RT012), foi citada a necessidade de tais estudos, conforme abaixo:

"Os estudos ora apresentados serão ainda alvo de revisão após a finalização da campanha de investigação geológico-geotécnica em andamento. Estudos de liquefação serão realizados com os resultados das sondagens percussivas e ensaios CPTu, a fim de confirmar a condição de segurança do maciço. Além disso, as seções geológico-geotécnicas utilizadas nos estudos de estabilidades poderão não ser adequadas frente os resultados das investigações em curso. Destaca-se que em caso de alterações devido aos estudos após a realização das investigações, estes serão tratados como escopo adicional".

Após notificação pela auditoria fiscal do trabalho em 07/01/2016 e em 04/02/2016, a SAMARCO apresentou em 11/02/2016 o estudo de liquefação da BRF para a elevação El. 940m, elaborado pela empresa VOGBR. Este estudo aponta que existia risco de liquefação para a BRF na El. 940m e que bermas de reforço deveriam ser construídas pela Samarco.

6.7.10 Fator de Segurança da Estabilidade

Durante os anos de 2013 a 2015, a empresa VOGBR foi a responsável pela elaboração do Relatório Técnico de Segurança Regular da BRF. Em 2014, devido às trincas ocorridas na barragem, o ITRB recomendou alguns parâmetros de resistência dos materiais a serem utilizados para o cálculo da estabilidade da barragem.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

6.7.10.1 Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR, Dique 1, de 2013 (documento SAMARCO G001624-O-1RT062)

Para definir o fator de segurança foram analisadas duas seções consideradas mais críticas, quais sejam:

Seção FF: $FS = 2,087 > 1,50$;

Seção MM: $FS = 2,109 > 1,50$.

6.7.10.2 Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR, Dique 1, de 2014 (documento SAMARCO G001627-O-1RI002)

Para definir o fator de segurança foi analisada a seção considerada mais crítica (não informada), sendo obtido o valor de 2,24.

6.7.10.3 Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR, Dique 1, de 2015 (documento SAMARCO G001600-O-1RI002)

Para definir o fator de segurança foi analisada a seção considerada mais crítica (ombreira esquerda), sendo obtido o valor de 1,68. Posteriormente, foi esclarecido pela VOGBR que a seção crítica analisada está na verdade na ombreira direita. A barragem se encontrava na El. 891m quando do cálculo do fator de segurança.

Pode-se verificar que o fator de segurança da estabilidade da barragem caiu de 2,24 (em 2014) para 1,68 (em 2015), o que demonstra sua fragilização no prazo de um ano, mesmo estando acima do preconizado pela NBR 13.028/2006, que é de 1,50.

6.7.10.4 Fator de Segurança conforme Relatório do ITRB

Foi recomendado pelo ITRB, em seu relatório N° 11, fls. 7, de 20/11/2014, que as análises de estabilidade da BRF deveriam ser refeitas, assumindo coesão igual a 5 kPa e ângulo de atrito igual a 28°. No relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR, Dique 1,



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

de 2015 (documento SAMARCO G001600-O-1RI002), foram adotados para cálculo do fator de segurança da estabilidade BRF os parâmetros geotécnicos constantes na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros utilizados pela VOGBR para cálculo do fator de segurança de estabilidade da BRF em 2015

| Materiais | γ (kN/m ³) | Parâmetros de resistência efetivos | | Coeficiente de permeabilidade (m/s) | Kv/Kh |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------|--|-------|
| | | e' (kPa) | ϕ (°) | | |
| Maçico alteado | 18 | 5 | 35 | 1e ⁻⁵ | 0,3 |
| Fundação | 18 | 40 | 32 | 1e ⁻¹⁰ | 1 |
| Dreno | 19 | 0 | 35 | 1e ⁻³ | 1 |
| Argila Vermelha | - | - | - | 1e ⁻⁸ | 1 |
| Argila amarela | - | - | - | 1e ⁻⁷ | 1 |
| Material de escavação | - | - | - | 1e ⁻⁵ | 1 |
| Oversize | - | - | - | 1e ⁻⁴ | 1 |

Quando da elaboração de Relatório Técnico por parte da empresa VOGBR para elevação das barragens de rejeitos de Germano e do Fundão para a El.940m, em 22/07/2015 (documento Samarco G002400-G-1RT012), foram adotados os parâmetros segundo a Tabela 10:

Tabela 10 - Parâmetros dos materiais utilizados pela VOGBR Projeto de alteamento El. 940m - 22/07/2015

| MATERIAL | γ_{nat} (kN/m ³) | C' (kPa) | ϕ' (°) |
|------------------------------|-------------------------------------|----------|-------------|
| Rejeito Arenoso | 19,3 | 5 | 35 |
| Rejeito Lançado (espigotado) | 19,3 | 5 | 30 |
| Aterro Argiloso | 19,0 | 20 | 30 |
| Transição em Areia | 20,0 | 0 | 33 |
| Transição em Brita 0 | 20,0 | 0 | 35 |
| Transição em Brita 3 | 20,0 | 0 | 35 |
| Pedra de Mão / Enrocamento | 21,0 | 0 | 38 |
| Bota Fora | 19,0 | 10 | 30 |
| Núcleo Argiloso | 19,0 | 25,3 | 30 |
| Enrocamento Sujo | 20,0 | 0 | 35 |
| Solo Residual de Filito | 18,0 | 10,5 | 31 |
| Saprolito de Filito | 18,0 | 30 | 33 |
| Aterro Arenoso | 19,0 | 10 | 30 |
| Aterro Arenoso com blocos | 19,5 | 10 | 30 |



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Verifica-se que em dois documentos elaborados pela empresa VOGBR em 2015, após a recomendação do ITRB para a utilização do ângulo de atrito de 28° para os rejeitos arenosos, foi utilizado o valor de 35° para o ângulo de atrito. Logo, as recomendações do ITRB não foram atendidas pela VOGBR, que manteve 35° para o ângulo de atrito do rejeito arenoso.

Outro fato que também chama a atenção é que sempre houve divergência entre os parâmetros dos materiais utilizados na BRF durante sua vida útil.

A Tabela 11 apresenta os parâmetros dos materiais utilizados pelas empresas Pimenta de Ávila e VOGBR para o cálculo do fator de segurança de estabilidade da Barragem de Fundão.

Tabela 11 - Parâmetros dos materiais – Cálculo do fator de Segurança

| Empresa | Documento | C' (kPa) | | Φ (°) | |
|------------------|---|--|-----------------|--|-----------------|
| | | Fundação | Aterro argiloso | Fundação | Aterro Argiloso |
| Pimenta de Ávila | Carta de Risco da BRF, julho/2012 | 30 | 20 | 28 | 28 |
| VOGBR | Relatório anual de estabilidade, 2013 | 45 | 29 | 34,4 | 28 |
| VOGBR | Relatório anual de estabilidade, 2015 | 40 | Não citado | 32 | Não citado |
| VOGBR | Relatório técnico – Projeto Detalhado El. 940m, em 2015 | 10,5 (solo residual de filito) 30 (Saprolito de filito) | 20 | 31 (solo residual de filito) 33 (Saprolito de filito) | 30 |

Verifica-se então uma variação muito grande entre os parâmetros adotados para os solos utilizados na BRF. Esta variação não foi explicada pela empresa VOGBR nos documentos emitidos entre 2013 e 2015 e interferem nos valores dos fatores de segurança da estabilidade apresentados.

Diante de tais informações, verifica-se que a Samarco aceitou os resultados dos fatores de segurança de estabilidade apresentados pela empresa VOGBR, apesar das discordâncias de números existentes entre os vários relatórios.



Por duas vezes, em 07/01/2016 e em 04/02/2016, a Auditoria Fiscal do Trabalho notificou a Samarco a apresentar o fator de segurança da estabilidade da BRF na EI. 900m, cota na qual se encontrava quando do seu rompimento, em seções junto à ombreira esquerda e à ombreira direita. A Samarco não apresentou documento informando sobre tais valores, sendo autuada por embarço à fiscalização em 11/02/2016.

7 INFORMAÇÕES SISMOLÓGICAS

7.1 Principais conceitos

De Rômulo Machado *et al*, extraímos os seguintes aspectos relativos a sismos:

“Sismos, ou terremotos, são movimentações repentinas em falhas geológicas, que geram vibrações que se propagam pelo interior da Terra em todas as direções, e podem ser muito destrutivas. Os sismos podem ser interplaca quando ocorrem devido ao contato entre duas placas ou sismos intraplaca são os que ocorrem no interior de uma placa tectônica. Nas regiões intraplaca, caso da maior parte do Brasil, os sismos são menos frequentes, têm profundidades mais rasas, raramente chegam a 40 km, e correspondem a pequenas rupturas na crosta superior. Nenhuma região intraplaca está totalmente isenta de pequenos tremores. Os sismos também podem ser naturais ou induzidos, sendo esse último, por interferência de obras do homem, como em construção de grandes represas hidrelétricas (através da penetração de água sob alta pressão em fraturas potencialmente sísmicas abaixo do reservatório); em mineração subterrânea (pela alteração das tensões do maciço rochoso causada pela escavação); detonações em lavras vizinhas. As rupturas ocorrem devido ao lento acúmulo de tensões no interior da Terra, principalmente relacionado ao movimento das placas litosféricas. As tensões podem levar vários anos para se acumularem até atingir o limite de resistência das rochas. Quando estas não resistem mais às altas tensões, rompem-se em poucos segundos (geralmente ao longo de uma falha geológica). Cada lado da fratura desliza em relação ao outro. A ruptura gera ondas sísmicas, semelhantes às vibrações que podem ser produzidas num colchão de molas. Quanto maior for a área da superfície da ruptura, maior deve ser a magnitude do sismo.”



Os efeitos destrutivos das ondas sísmicas dependem da magnitude do terremoto e da distância do epicentro. O ponto inicial da ruptura é chamado de foco ou hipocentro, e sua projeção na superfície é chamada de epicentro”.

7.2 Sismos induzidos

Sismos induzidos por grandes reservatórios são frequentemente estudados por geofísicos. Segundo Aranha (s.d.), estudos sismológicos efetuados em inúmeros reservatórios de todo o mundo mostraram que atividades sísmicas podem ser desencadeadas pela sobrecarga da coluna de água, e, principalmente, pela penetração da água sob pressão em fraturas e zonas de falha até alguns quilômetros de profundidade. No entanto, é necessário que o maciço rochoso sob influência do reservatório já esteja com tensões tectônicas bastante altas, próximas do ponto de ruptura do maciço. A carga de água do reservatório e a penetração de água em fraturas do maciço são apenas fatores que desencadeiam uma situação já em estado crítico.

Quanto maior a profundidade do reservatório (ou a altura da barragem), mais provável é a ocorrência de sismos induzidos. Em reservatórios com barragens de mais de 100 m de profundidade em regiões sedimentares, a probabilidade pode chegar a 50%. A BRF já estava com cerca de 108 metros no dia do seu rompimento. Até hoje, em cerca de vinte reservatórios no Brasil já houve sismos induzidos, e os maiores chegaram a originar pequenas trincas em paredes de casas da região rural.

Em barragens de rejeitos, há drenos para promover a retirada das águas de percolação, através da fundação e do maciço. Todavia, os drenos podem não ter a eficiência esperada. No caso da BRF, ocorreram pontos de surgência em taludes a partir de 2013. Em agosto de 2014, grandes trincas surgiram na região do recuo do eixo, próximo à ombreira esquerda, com sinais de saturação da berma na elevação 862m. Tais situações apontam que o excesso de água não estava sendo devidamente drenado.

Principalmente nas barragens de rejeitos, os sismos ainda podem ser induzidos por grande deposição ou retirada de material que naturalmente se acomoda onde há grande carregamento do terreno ao longo do tempo.



Ressalta-se ainda a ocorrência de detonações em áreas vizinhas, como mais uma das causas dos sismos induzidos. A área da Barragem de Fundão era próxima à Mina de Alegria da Vale S.A. e as vibrações decorrentes das detonações na mina eram constantemente percebidas pelos trabalhadores, conforme relatos.

O trânsito frequente de veículos pesados sobre a estrutura da barragem também poderia ter gerado vibrações significativas. Várias obras de drenagem estavam ocorrendo simultaneamente na BRF, como os tapetes drenantes na El. 890m (ombreira direita) e na El. 860m (ombreira esquerda), além de drenos longitudinais junto ao terreno natural das ombreiras. Somando-se a tais obras, ocorriam, de maneira contínua, operações de alteamento da crista da barragem executada pela empresa VIX Logística. Por fim, esta empresa, supervisionada pela Samarco, executava o transporte de resíduo arenoso seco até a região do recuo do eixo, El. 860m, e posterior lançamento e espalhamento deste material. Em todos os serviços eram utilizados equipamentos pesados como: escavadeira, trator de esteira, patrol, caminhão pipa, caminhões basculantes.

7.3 Sismo Máximo de Projeto

O Manual de Segurança de Barragens 2002 do Ministério da Integração Nacional traz o conceito de Sismo Máximo de Projeto – SMP, sismo que resultaria da mais severa movimentação da fundação que a estrutura da barragem possa ser capaz de resistir, sem uma liberação incontrolável do material armazenado no reservatório.

De acordo com o referido Manual, os parâmetros de movimentação necessários para o projeto são específicos do local, sendo que o SMP deve considerar as consequências da ruptura da barragem. A seleção do SMP pode basear-se em um carregamento sísmico artificial que poderia ser, eventualmente, disparado por atividade humana, sendo alguns exemplos a extração ou injeção em campos de petróleo, água subterrânea ou sismicidade induzida pelo reservatório. O aludido Manual ainda afirma que um abalo sísmico de magnitude igual ou superior a 5 graus na escala Richter pode acarretar a ruptura de barragem.



7.4 Histórico Sismológico na região de Mariana

Em consulta ao Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo/USP¹⁵, desde fevereiro/2015 verifica-se registros de abalos sísmicos na região de Mariana com magnitude da ordem de 2-3 graus na Escala Richter (mR). Ressalta-se que não foram encontrados registros de abalos em 2014. A Tabela 12 apresenta os terremotos registrados pela Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) na região de Mariana em 2015.

Tabela 12 - Terremotos registrados pela Rede Sismográfica Brasileira na região de Mariana em 2015

Fonte: Centro de Sismologia da USP - SP

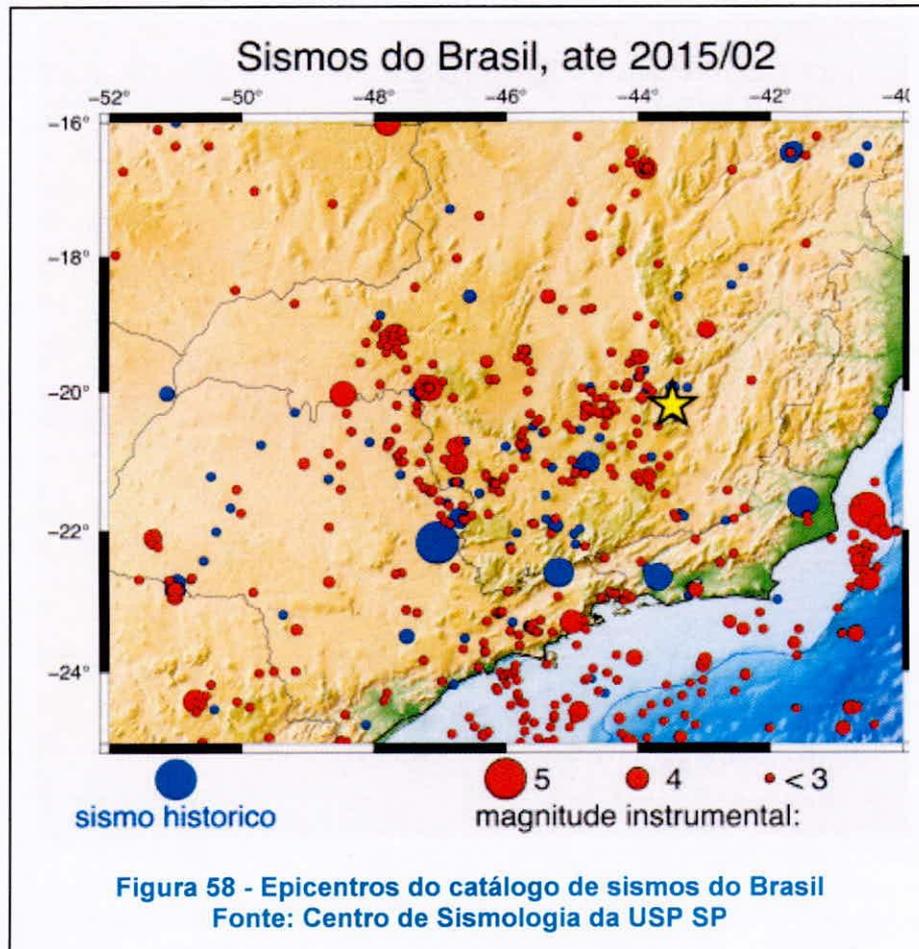
| Dia Hora local | Longitude | Latitude | Magnitude (mR) | Região |
|---|-----------|----------|-------------------|----------------|
| 2015-11-05 17:56:42 UTC | -43.50 | -20.20 | 2.0 | Ouro Preto/MG |
| 2015-11-05 16:13:52 UTC | -43.48 | -20.20 | 2.6 | Ouro Preto/MG |
| 2015-11-05 16:12:15 UTC | -43.50 | -20.08 | 2.4 | Catas Altas/MG |
| 2015-11-05 15:06:06 UTC | -43.58 | -20.21 | 2.4 | Ouro Preto/MG |
| 2015-11-05 15:01:49 UTC | -43.28 | -20.08 | 2.3 | Catas Altas/MG |
| 2015-05-11 16:09:59 UTC | -43.55 | -20.14 | 2.4 | Ouro Preto/MG |
| 2015-02-05 07:33:51 UTC | -43.41 | -20.07 | 2.1 | Catas Altas/MG |
| 2015-02-05 07:01:20 UTC | -43.41 | -20.06 | 2.3 | Catas Altas/MG |
| 2015-02-04 23:22:35 UTC | -43.42 | -20.06 | 2.8 | Catas Altas/MG |

De acordo com o Centro de Sismologia da USP, tremores de pequena magnitude da ordem de 2,5 da escala Richter são bastante frequentes no país, especialmente na região leste de Minas Gerais, onde se encontra a BRF. Esta região tem histórico de sismos e é uma das “zonas sísmicas” usadas na preparação do Mapa de Ameaça Sísmica do Brasil. Os tremores na região ocorrem devido à combinação de tensões geológicas em função da movimentação da placa Sul-Americana e tensões de origem local.

¹⁵ Consulta ao sitio <http://moho.iag.usp.br/eq/latest> em 22/02/2016



A Figura 58 mostra o histórico de sismos na região de Minas Gerais: círculos vermelhos são eventos determinados por estações sismográficas e círculos azuis, eventos históricos. A estrela amarela é o local da Mineração Samarco.



O maior tremor nesta região de Minas Gerais, que se tem registro até hoje, não ultrapassou magnitude 4 na escala Richter. Ressalta-se ainda que tremores de tal magnitude passam frequentemente despercebidos por ocorrerem longe de cidades, ou longe de estações sismográficas da Rede Sismográfica Brasileira - RSBR.

Em síntese, informa o Centro de Sismologia da USP, que pequenos tremores de terra nessa região de Minas Gerais são relativamente comuns e não se tratam de fenômeno anormal.


Página 91



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Segundo a empresa Pimenta de Ávila Consultoria, “o projeto elaborado [...] utilizou o conceito de empilhamento drenado, que mantém o maciço da barragem **sem saturação**, portanto não susceptível aos problemas decorrentes dos efeitos dos abalos sísmicos que afetam as areias saturadas.” (grifos nossos)

7.5 Sismos ocorridos na região da BRF no dia do rompimento da barragem

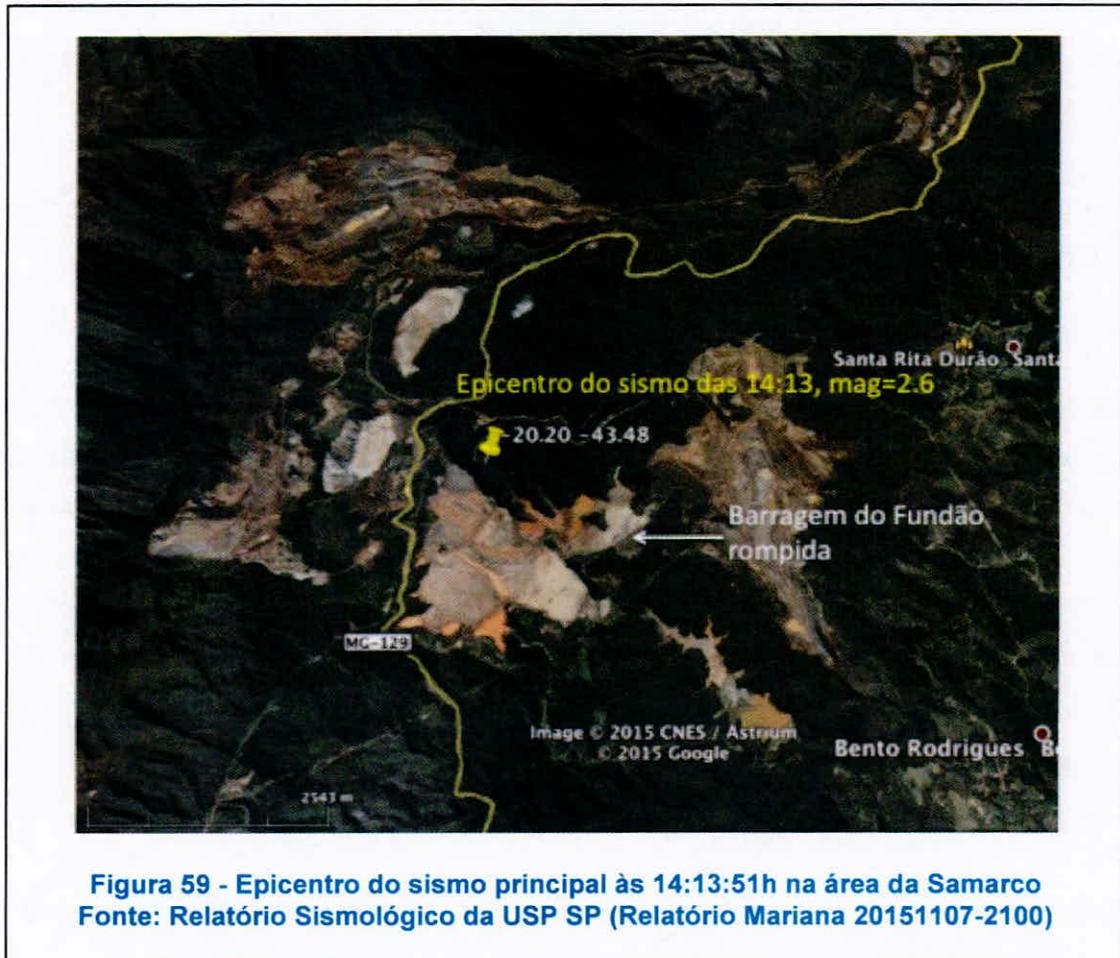
A Tabela 13 mostra os tremores de terra registrados na região em Mariana/Bento Rodrigues, MG em 05/11/2015, dia do rompimento da barragem, conforme o Centro de Sismologia da USP.

Tabela 13 - Sismos registrados pela Rede Sismográfica Brasileira na região de Mariana em 05/11/2015

| Evento | Hora | Latitude | Longitude | Incerteza no epicentro (km) | Magnitude |
|--------|----------|----------|-----------|-----------------------------|-----------|
| 1 | 13:01:50 | -20.0 | -43.3 | 20 | 2.3 |
| 2 | 13:06:07 | -20.2 | -43.6 | 20 | 2.5 |
| 3 | 14:12:15 | -20.08 | -43.50 | 20 | 2.4 |
| 4 | 14:13:51 | -20.20 | -43.48 | 10 | 2.6 |
| 5 | 15:56:42 | -20.2? | -43.5? | ? | 2.0? |
| 6 | 15:59:28 | -20.00 | -43.60 | 20 | 2.2 |

O Centro de Sismologia da USP informa que o epicentro principal ocorreu a 3 km da BRF. Todavia, afirma que a margem de erro da localização epicentral é de cerca de 10 km, devido às distâncias das estações da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) localizadas entre 150 e 400 km dos epicentros.

A Figura 59 mostra o epicentro do sismo principal, às 14:13:51 (hora local), na área da Mineração Samarco. O epicentro está a 3 km da barragem do Fundão que se rompeu. A margem de erro na localização epicentral é de aproximadamente 10 km.



7.6 Considerações sobre os fatos

Segundo o Centro de Sismologia da USP, 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.

Conforme informação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, o sismo induzido máximo não excede o sismo natural máximo da região.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Alerta Brito apud Aranha (s.d.) que “*as cargas dinâmicas introduzidas na barragem, sejam pelas detonações vizinhas sejam pelos equipamentos, devem ser objeto de preocupação permanente.*”

Aranha (s.d.) cita Lindolfo Soares: “*Em áreas que ocorram vibrações... **recomenda-se que o alteamento por este método de montante seja descartado.***”

Analisando os documentos entregues à equipe de fiscalização, dentre esses, 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 Joaquim Pimenta de Ávila, da empresa Pimenta de Ávila Consultoria LTDA. 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” (grifos nossos).

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.



8 Informações relativas à legislação de SST

8.1 NR4 - Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho

Após segunda notificação para apresentação do relatório de Análise de Acidente elaborado pelo SESMT, a Samarco apresentou em Fevereiro/2016 um documento chamado “Análise e Investigação do Acidente ocorrido com o rompimento da barragem de Fundão”. Entretanto, o título do documento não corresponde ao seu conteúdo, uma vez que o relatório não analisa e tampouco investiga os fatores causais do acidente. Entendemos que trata-se de acidente complexo, que abrange diversas áreas da engenharia, porém o SESMT não poderia se furtar a participar, ainda que preliminarmente, da análise investigatória.

No documento são apresentadas basicamente as ações a serem implementadas na área da barragem e comunidades impactadas, como construção de diques de contenção de lama, sistemas de monitoração de eventos sísmicos, complementação do Plano de Ações Emergenciais, planejamento de resgate, dentre outros; ações que estas que, na verdade, deveriam ter sido planejadas e implementadas antes do acidente. Consta ainda no relatório que “a causa básica do acidente foi o rompimento da barragem[...]”.

8.2 NR5 – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes

Em 10/11/2015, a CIPAMIN – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração – realizou reunião extraordinária. Apesar dos diversos problemas existentes na barragem como surgências, trincas e vazamentos, chama a atenção o item “b” da ata desta reunião:

“b) Até a data do acidente mencionado, não havia qualquer sinal de que houvesse problemas nas barragens mencionadas, nem que havia risco de rompimento das mesmas.”

Tanto nas atas das reuniões ordinárias dos doze meses anteriores ao acidente, quanto na ata da reunião extraordinária da CIPAMIN verifica-se que seus membros não manifestaram



qualquer conhecimento a respeito dos problemas que vinham ocorrendo na BRF conforme apresentado no presente relatório.

8.3 NR22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração

8.3.1 Depósito de rejeitos

Foi constatado que, ao deixar de realizar os estudos de liquefação, que deveria determinar o potencial para liquefação na barragem, a empresa descumpriu o item 22.26.1 da NR-22, que determina que “Os depósitos de estéril, rejeitos, produtos, barragens e áreas de armazenamento, assim como as bacias de decantação, devem ser construídas em observância aos estudos hidrogeológicos e ainda, atender às normas ambientais e às normas reguladoras de mineração”.

Além disso, por não instalar inclinômetros, não manter em dia a leitura de todos os piezômetros (desligamento de alguns deles para obras de alteamento, falhas na comunicação de piezômetros *wireless* e falta de registro de monitoramento de outros), bem como não atualização, por pelo menos dois anos, da carta de risco, o monitoramento da movimentação da percolação de água, da movimentação e estabilidade e do comprometimento do lençol freático a empresa descumpriu o item 22.26.2 da NR-22.

8.3.2 PGR – Programa de Gerenciamento de Riscos

Analisamos o documento-base do PGR, apresentado pela empresa, datado de 20 de março de 2015, assinado por João Bernardes de Souza Júnior, Gerência de Saúde Ocupacional, Analista de Higiene Ocupacional e contendo 84 páginas. Analisamos também os 22 Anexos ao PGR.

Quanto aos aspectos gerais do PGR, o documento-base apresenta na página 68 o item 21 - Cronograma em que se estabelece no item “a” o “cumprimento das ações previstas para o atendimento aos requisitos críticos e no item “b” o “Cronograma e Monitoramentos ambientais para o ano de 2015”, em que estão previstas apenas 8 ações como revisão do PGR, do PCA e do PPR; cumprir o treinamento em saúde e segurança, fornecimento e/ou



adequação e supervisão do uso dos EPI's; monitoramento de radiação ionizante, monitoramento de riscos ambientais e avaliação global do PGR. A empresa não apresenta no PGR as etapas de estabelecimento de prioridades e metas das medidas de controle dos riscos ambientais. Descumpriu-se, assim, o item 22.3.1, alínea "c", da Norma Regulamentadora nº. 22.

Apesar de a análise das condições ambientais de trabalho no que se refere à medição da concentração dos agentes nocivos não ter relação direta com o acidente, optamos por incluir tais informações neste relatório, pois, está inserida no sistema de gestão da segurança e saúde da empresa.

Deu-se ênfase na análise dos Anexos referentes à avaliação quantitativa de poeiras minerais, fumos metálicos e ruídos, Programa de Proteção Respiratória (PPR), Programa de Conservação Auditiva (PCA) e Ergonomia.

8.3.3 Anexo de Levantamento de poeiras minerais

Consta de documento denominado "Relatório Técnico nº. 355/2014", sob a responsabilidade técnica do Engenheiro de Segurança do Trabalho Luciano Sérgio Alves da Silva, CREA/MG 18.597, com data de dezembro de 2014.

Trata-se de documento com 117 páginas rubricadas pelo responsável técnico, onde constam a metodologia e a aparelhagem utilizadas para avaliação de poeiras minerais, os resultados obtidos, certificados de análise laboratorial dos filtros de amostragem, certificado de calibração das bombas de amostragem e a Anotação de Responsabilidade Técnica - ART.

Os certificados de análise laboratorial são assinados por Luciano Kasbergen Silva, CREA: 66269/D (Responsável pelo Laboratório) e Leandro Assis Magalhães, CRQ: 02102837 – 2ª Região (Responsável Técnico), do Laboratório VISIOLAB Análises Químicas (Rua Maurete José dos Santos, 135, Bairro Castelo, Belo Horizonte, Tel: 2511-3552/3428-2026).

No documento são relacionados 24 Grupos Homogêneos de Exposição e um total de 336 amostras, sendo algumas repetidas em datas diferentes para o mesmo trabalhador. A



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

maioria (313) das amostras foi colhida em 2014 e 23 amostras foram colhidas em janeiro de 2015.

Verificamos que nas tabelas de cálculos das concentrações e dos respectivos Limites de Tolerância (LT) para Silica (SiO_2), deixaram de constar avaliação de concentração e dos respectivos LT de 17 filtros constantes na relação dos Certificados de Análise, conforme Tabela 14 a seguir.

Tabela 14 - Concentrações para Silica

| ID Amostrador | Massa de SiO_2 (em MG) | % de SiO_2 |
|---------------|------------------------------------|---------------------|
| DRX 14/5227 | 0,023 | 4,259 |
| DRX 14/5250 | 1,706 | 3,385 |
| DRX 14/5252 | 0,022 | 4,492 |
| DRX 14/5253 | 4,949 | 1,260 |
| DRX 14/4899 | 2,118 | 0,514 |
| DRX 14/4876 | 0,018 | 0,549 |
| DRX 14/4893 | 0,038 | 2,564 |
| DRX 14/4903 | 0,023 | 0,111 |
| DRX 14/5541 | 0,089 | 13,146 |
| DRX 14/6214 | 0,116 | 13,728 |
| DRX 14/6206 | 0,160 | 3,114 |
| DRX 14/6211 | 0,148 | 18,272 |
| DRX 14/6215 | 0,267 | 50,473 |
| DRX 14/6227 | 0,027 | 0,764 |
| DRX 14/0166 | 0,085 | 48,851 |
| DRX 14/6244 | 0,375 | 41,118 |
| DRX 14/6208 | 0,083 | 7,887 |



Conclui-se que a empresa deixou de fazer, em 5% das amostras, o monitoramento da exposição a poeiras minerais conforme o disposto no item 22.17.1 da NR-22.

8.3.4 Anexo de Levantamento de Riscos Ambientais: Fumos metálicos

Consta de documento, também denominado "Relatório Técnico nº. 355/2014", sob a responsabilidade técnica do Engenheiro de Segurança do Trabalho Luciano Sérgio Alves da Silva, CREA/MG 18.597, com datada de dezembro de 2014.

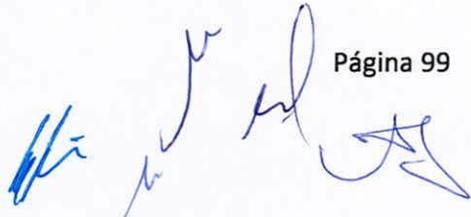
Trata-se de documento com 35 páginas rubricadas pelo responsável técnico, onde constam a metodologia e aparelhagem utilizadas para avaliação de fumos metálicos (Ferro, Chumbo, Manganês e Cádmio), os resultados obtidos, certificados de análise laboratorial dos filtros de amostragem, certificado de calibração das bombas de amostragem e a ART.

Neste documento são relacionados sete Grupos Homogêneos de Exposição - GHE, na função de soldador, sendo algumas amostras repetidas em datas diferentes para o mesmo trabalhador. Nas tabelas dos diversos GHE não foram relatadas exposição acima dos Limites de Tolerância para os fumos metálicos avaliados.

8.3.5 Anexo de Levantamento de ruído

Consta de documento denominado "Relatório Técnico nº. 355/2014, sob a responsabilidade técnica do Engenheiro de Segurança do Trabalho Luciano Sérgio Alves da Silva, CREA/MG 18.597, com data de dezembro de 2014. Destaca-se que o documento tem o mesmo número, responsável técnico e data que os demais levantamentos de poeiras minerais e fumos metálicos.

Este documento contém 40 páginas em que constam o histórico das amostragens, a metodologia e aparelhagem utilizadas para avaliação de ruído, os resultados obtidos por GHE - Grupos Homogêneos de Exposição, certificados de análise laboratorial dos filtros de amostragem e certificado de calibração de audiodosímetro e a ART.


Página 99



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Foram avaliados 46 GHE com número variável de trabalhadores expostos, sendo que algumas amostragens foram repetidas para um mesmo trabalhador em datas diferentes. Verifica-se exposição acima de 85 dB(A) para alguns GHE como exemplificado na Tabela 15.

Tabela 15 - Exposição a ruído excessivo por GHE

| Grupo Homogêneo de Exposição | Número de trabalhadores | Variação de Leq em dB(A) | Média logarítmica do GHE em Lavg |
|---|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 1CC-GMG-Manutenção Mecânica – Britagem | 8 (8 amostragens) | 90,1 a 96,1 | 92,7 |
| 1DDD – GMG – Manutenção Mecânica - Britagem | 4 (5 amostragens) | 88,2 a 93,1 | 91,4 |
| 2CC – GMG – Manutenção mecânica – Usina | 10 (18 amostragens) | 89,1 a 99,5 | 93,5 |
| 3AA – GBC-C- Produção | 12 (14 amostragens) | 90,4 a 98,9 | 95,2 |
| 3C – GMG – Manutenção mecânica | 14 (16 amostragens) | 88,5 a 96,0 | 92,6 |
| 13HH-GMI-M- Estação de Bombas | 5 (10 amostragens) | 89,0 a 97,0 | 93,0 |

8.3.6 Anexo: Programa de Proteção Respiratória - PPR

O Programa de Proteção Respiratória praticamente repete (sendo quase uma cópia fiel) o constante na IN nº. 1 de 11 de abril de 1994. O PPR não apresenta o relatório de treinamentos efetuados quanto ao uso de equipamentos de proteção respiratória, assim como não apresenta registros dos ensaios de vedação.

8.3.7 Programa de Conservação Auditiva – PCA

O Programa de Conservação Auditiva dá ênfase ao fornecimento de equipamentos de proteção auditiva individual e não explicita qualquer medida de controle coletivo adotada



pela empresa contra exposição a níveis de pressão sonora elevados, especialmente àqueles acima de 85 dB(A).

No PCA não são apresentados os critérios de diagnóstico de perda auditiva ou seu agravamento e a conduta a ser adotada nos casos ocupacionais e não ocupacionais.

8.3.8 Ergonomia

O anexo "Ergonomia" ao PGR, se limita a avaliação e recomendações para mobiliário de escritório. Não se apresenta qualquer análise ergonômica do trabalho nas diversas atividades de empresa.

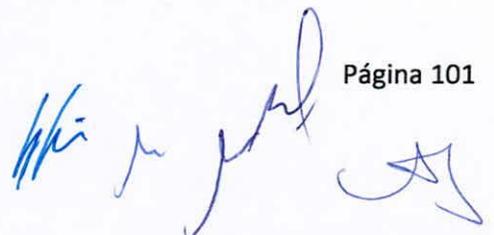
Quanto à organização do trabalho não se analisa a sua adequação às características psicofisiológicas dos trabalhadores, quanto as normas de produção, modo operatório, exigência do tempo, ritmo de trabalho e conteúdo das tarefas.

8.4 Plano de Ação Emergencial

Também analisamos o Plano de Resposta a Emergência/Plano de Emergência datado de 06/05/2015, no qual encontramos as seguintes irregularidades:

No item 8.6, página 17, referente ao cenário de rompimento de barragem, consta nas ações de comunicação da emergência apenas a comunicação aos setores internos da empresa como Centro de Controle de Emergências, Bombeiros Industriais, Brigadista, Vigilância Patrimonial, Coordenador do plano e Comitê de crises. Não há definição de sistema de comunicação ao ambiente interno referente aos trabalhadores afetados (próprios ou terceirizados) nem ao ambiente externo como as populações afetadas, assim como não se especifica a sinalização de emergência da ocorrência, deixando assim a empresa de cumprir a exigência legal e normativa.

No item 8.6, página 17, supracitado também não há definição de forma de articulação da empresa com órgãos da defesa civil, deixando assim a empresa de cumprir a exigência legal e normativa.


Página 101



No item 9.5 - Cronograma de Exercícios Simulados, na página 27 do referido Plano de Emergência, não consta previsão de simulados para o caso de ruptura de barragens, mas apenas simulados para outras onze situações de emergência como: Incêndio Industrial, Incêndio em caldeiras, acidente com eletricidade, acidente em espaço confinado, colapso estrutural/vítima de soterramento, incêndio em tanque de óleo/sistema de pré-aquecimento, incêndio em embarcações/ afogamento (homem ao mar), vítima encarcerada/ aprisionamento em correia, atropelamento, acidente em altura e vazamento de produto químico. Não constam no PAE, portanto, evidências de simulação de emergência para o caso de rompimento de barragem de rejeitos, como o ocorrido em 05/11/2015, deixando assim a empresa de cumprir a exigência legal e normativa.

9 Relatórios Anuais de Lavra (RAL)

A Tabela 16 apresenta as principais informações contidas nos Relatórios Anuais de Lavra (RAL), emitidos pela Samarco em 2013, 2014 e 2015 e apresentados ao DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral). Pode-se observar a incompatibilidade entre alguns dados fornecidos e a realidade de operação da barragem, com dados conflitantes até mesmo com as inspeções de segurança realizadas.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Tabela 16 - Resumo das informações dos Relatórios Anuais de Lavra

| Relatório Anual de Lavra | Exercício 2013 Ano base 2012 | Exercício 2014 Ano base 2013 | Exercício 2015 Ano base 2014 |
|--|--|---|---|
| Percolação | Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem | Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem | Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem |
| Taludes | Não existe deterioração de taludes e paramentos | Não existe deterioração de taludes e paramentos | Não existe deterioração de taludes e paramentos |
| Estruturas extravasoras | Estruturas civis bem mantidas e em operação normal. Barragem sem necessidade de estruturas extravasoras | Estruturas civis bem mantidas e em operação normal. Barragem sem necessidade de estruturas extravasoras. | Estruturas civis bem mantidas e em operação normal. Barragem sem necessidade de estruturas extravasoras. |
| Resumo das informações relevantes das inspeções de segurança regulares realizadas no ano-base | Não informado | Falta de leira no acesso da bermã da barragem; Presença de cupins acima no talude de jusante; Troncos e galhos nas leiras de acesso da tulipa secundária; Bomba d'água operando inclinada; Drenagem irregular no contato do primeiro desvio do eixo; Canaletas de drenagem obstruídas; Vazamento em tubulação de rejeito. | Canaletas obstruídas; Canaletas quebradas; Vazamento tubulação; Caixa do extravasor com formas instaladas no interior de passagem causando risco de obstrução em caso de desprendimento; Baia A desconfigurada. |
| PAE | Em elaboração | Possui PAE | Possui PAE |
| Impacto Ambiental | Significativo | Significativo | Significativo |
| Impacto sócio econômico | Médio | Médio | Médio |

10 TREINAMENTOS

A Samarco apresentou a "Relação de Empregados Obra Infraestrutura Alteamento Barragem" e diversas listas de presença de treinamentos ministradas pela Técnica de Segurança do Trabalho Gilmara das Graças Vilela Pereira, da empresa 2R Serviços Técnicos Ltda.

Analisando a documentação apresentada, foi verificado que os empregados das empresas terceirizadas não foram submetidos em sua totalidade a treinamento de segurança. Um adequado treinamento em situações de emergência deve conter ações que preservem a



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

segurança e saúde do trabalhador, e, em momentos de condições extremas, pode significar a diferença entre a vida e a morte do empregado.

A Tabela 17 mostra o número de empregados lotados na obra de infraestrutura/alteamento da BRF que não foram submetidos a treinamento de segurança.

Tabela 17 – Quantidade de empregados não submetidos a treinamento

| Empresa terceirizada | Quantidade de empregados na obra de alteamento | Quantidade de empregados sem treinamento |
|--|---|---|
| Canadá Locadora de Equipamentos Ltda | 13 | 6 |
| Diefra Eng e Consultoria Ltda | 20 | 3 |
| EBJ Assessoria e Gerenciamento Ambientais Ltda | 2 | 2 |
| Engelic Montagem e Manutenção Elétrica Ltda | 34 | 18 |
| Geraes Arquitetura e Engenharia Ltda | 49 | 27 |
| Integral Engenharia Ltda | 432 | 11 |
| JM Reflorestamento e Serviços Ltda | 70 | 59 |

Apesar de não informado pela Samarco nominalmente nenhum empregado da VIX Logística S/A na “Relação de Empregados Obra Infraestrutura Alteamento Barragem”, foi apresentada lista de presença de treinamento da VIX Logística S/A. Em um segundo momento, foi a própria VIX Logística quem informou a relação nominal dos trabalhadores diretamente envolvidos na obra de alteamento.

Observa-se que o treinamento foi ministrado em 1 (uma) hora pelo SESMT da própria empresa sobre plano de emergência.

Nos treinamentos realizados em datas diversas do mês de maio/2015, no local intitulado “ponto de apoio barragem”, apenas 138 (cento e trinta e oito) dos 230 (duzentos e trinta) empregados confirmaram presença.

A Samarco apresentou apenas parte dos documentos solicitados, pois não relacionou os empregados terceirizados que se encontravam na obra no dia do acidente na “Relação de Empregados Obra Infraestrutura Alteamento Barragem”.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Observando a lista de acidentados/desaparecidos, verifica-se que havia empregados das seguintes empresas: Manserv Montagem e Manutenção S/A, Geocontrole BR Sondagens SA e Produquímica Indústria e Comércio SA. Porém, não consta, na relação apresentada pela Samarco, nenhum empregado destas empresas.

Nas listas de presença verifica-se empregados submetidos a treinamento das seguintes empresas e datas: ECM (treinamento ocorrido em 06/10), Indumep (em 20/10), Arcadis Logo (em 29/09), Skava Minas (em 14/07), Golder (em 14/07). Nenhum empregado dessas empresas foi citado na relação de empregados apresentada.

11 FISCALIZAÇÕES E ANÁLISES DE TERCEIROS

11.1 Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM

Em 09/10/2014 a SAMARCO foi autuada pela Fundação Estadual do Meio Ambiente pelo descumprimento da Deliberação Normativa COPAM 87/2005. No Auto de Fiscalização constam as seguintes infrações:

- Existência de focos erosivos no talude a jusante da BRF
- Obstrução de canaletas de drenagem superficial

Foi também recomendado que a empresa observasse as alterações na posição freática da estrutura, devendo revisar a Carta de Risco, o que não ocorreu.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG
SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS | | | |
|---|--|---|------------------------------|
| SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL | | | |
| SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - SISEMA | | | |
| Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM | | | |
| Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH | | | |
| | | 1. AUTO DE FISCALIZAÇÃO: N° 49081 /2 | |
| 2. AGENDAS: 01 <input checked="" type="checkbox"/> FEAM 02 <input type="checkbox"/> NEF 03 <input type="checkbox"/> IGAM Hora: 11:30 Dia: 09 Mês: Outubro | | | |
| 3. Motivação: <input type="checkbox"/> Denúncia <input type="checkbox"/> Ministério Público <input type="checkbox"/> Poder Judiciário <input type="checkbox"/> Operações Especiais do CGFAI <input type="checkbox"/> SUPRAM <input type="checkbox"/> CC | | | |
| 4. Finalidade | FEAM: <input type="checkbox"/> Condicionantes <input type="checkbox"/> Licenciamento <input type="checkbox"/> AAF <input type="checkbox"/> Emergência Ambiental <input type="checkbox"/> Acompanhamento de p | | |
| | IEF: <input type="checkbox"/> Fauna <input type="checkbox"/> Pesca <input type="checkbox"/> DAIA <input type="checkbox"/> Reserva Legal <input type="checkbox"/> DCC <input type="checkbox"/> APP <input type="checkbox"/> Danos em áreas proi | | |
| | IGAM: <input type="checkbox"/> Outorga <input type="checkbox"/> Outros | | |
| 5. Identificação | 01. Atividade | 02. Código | 03. Classe |
| | Baragem de Rejates | A-03-03-7 | 6 |
| | 05. Processo nº | 06. Órgão | 07. Não p |
| | 00015/1984 | | |
| | 08. (X) Nome do Fiscalizado | 09. CPF | 10. CNPJ |
| | Samarco Mineração S.A. | 16.628.281/00 | |
| | 11. RG | 12. CNH/UF | 13. TRCP Ig. Eleitoral |
| | | | |
| 14. Placa do veículo - UF | 15. RENAVAM | 16. Nº e tipo do documento ambiental | |
| 17. Nome Fantasia (Pessoa Jurídica) | 18. Inscrição Estadual | | |
| Samarco Mineração S.A. | | | |
| 19. Endereço do Fiscalizado - Correspondência: Rua, Avenida, Sítio | 20. Nº - KM | 21 | |
| Rua de Germano | 577 | | |
| 22. Bairro/Logradouro | 23. Município | | |
| | Marana | | |
| 24. CEP | 26. Cx Postal | 27. Fone | 28. E-mail |
| 315 420 000 | 22 | (31) 31519.5323 | joacob@samar |
| 01. Endereço: Rua, Avenida, Sítio, Fazenda, etc | 04. Bairro/Logradouro/Distrito/Localidade | | |
| Rua de Germano | | | |
| 02. Nº - KM | 03. Complemento | | |
| 577 | | | |
| 05. Município | 06. CEP | 07. Fone | |
| Marana | 315 420 010 | (31) 3154 | |
| 08. Referência do local | | | |

(Handwritten signatures and initials)



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG
SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| | | |
|--|--|-----------|
| CONTINUAÇÃO DO AUTO DE FISCALIZAÇÃO: Nº <u>49081</u> <u>120-14</u> | | Folha 1/3 |
| B. Relatório Sucinto | <p>Em fiscalização realizada na <u>Embrac Minasgás S.A.</u> para verificação de cumprimento da legislação ambiental vigente que trata a <u>Liberação Normativa de CONAM nº 67/2005</u>, foi constatado que de acordo com a documentação disponibilizada no empreendimento, as estruturas <u>Barragem do Germano, Barragem do Turndão, Dique Sula-Tulipa e Barragem Santarém</u> foram auditadas no ano de 2014 e conforme as inspeções realizadas e análise dos documentos, as estruturas, na data da inspeção, encontravam-se em condições adequadas de segurança desde que atendidas as recomendações com relação à estabilidade física, constantes nos planos de ação. Do ponto de vista de dimensionamento das estruturas de contenção, as mencionadas estruturas também encontravam-se em condições adequadas de segurança.</p> | |
| | <p>Durante esta fiscalização foram identificadas alguns focos críticos em pontos específicos no talude de jusante da <u>Barragem do Turndão</u> que deverão ser tratados conforme o programa de manutenção e monitoramento definido pela empresa.</p> | |
| | <p>Foi verificada também a <u>destruição de algumas parvalotas de drenagem superficial</u> que deverão ser limpas antes do início do período chuvoso.</p> | |
| | <p>A empresa deverá ter atenção às alterações na posição física da <u>Barragem do Turndão</u> conforme relatado no auditorio técnico de segurança e atender a recomendação de revisar a carta de risco da estrutura.</p> | |
| | <p>Em linhas gerais, as estruturas apresentam condições satisfatórias de manutenção e monitoramento, devendo a empresa atender as recomendações propostas pela auditoria dentro do cronograma estabelecido.</p> | |



11.2 Instituto Prístino

O Instituto Prístino é pessoa jurídica de direito privado sem fins econômicos que desenvolve pesquisas direcionadas em diagnóstico, conservação e uso racional do patrimônio natural.

Em Outubro/2013, este instituto realizou uma Análise Técnica Referente à Revalidação da Licença Operacional da BRF, a pedido do Ministério Público do Estado de Minas Gerais (IP. 082.2013)¹⁶. A revalidação objeto da análise era referente à etapa 2 (dois) da construção da BRF, quando seria alcançada a elevação El. 940m. O pedido de revalidação foi necessário devido ao término da validade das Licenças de Operação 230/2008 e 526/2011, em setembro de 2013.

A análise do Instituto Prístino chama a atenção para o fato de que algumas medidas apresentadas anteriormente (Parecer Único 257/2013) deveriam ter se transformado em condicionantes da revalidação da licença. Outro ponto destacado no relatório é que a Barragem do Fundão e a pilha de estéril União da Mina de Fábrica Nova da Vale fazem limite entre si, caracterizando **sobreposição de áreas de influência direta, com sinergia de impactos**.

11.2.1 Recomendações

Constam na Análise as seguintes recomendações:

- Realização periódica de monitoramento geotécnico e estrutural dos diques e da barragem, com intervalo inferior a um ano entre as amostragens;
- Apresentação de plano de contingência em caso de riscos ou acidentes, com comprovação de efetividade, dada a presença de população na comunidade de Bento Rodrigues, distrito do município de Mariana-MG;
- Elaboração de Análise de Ruptura (*DAM-BREAK*), que já estava prevista para ser entregue à SUPRAM (Superintendência Regional do Meio Ambiente) em julho de 2007;

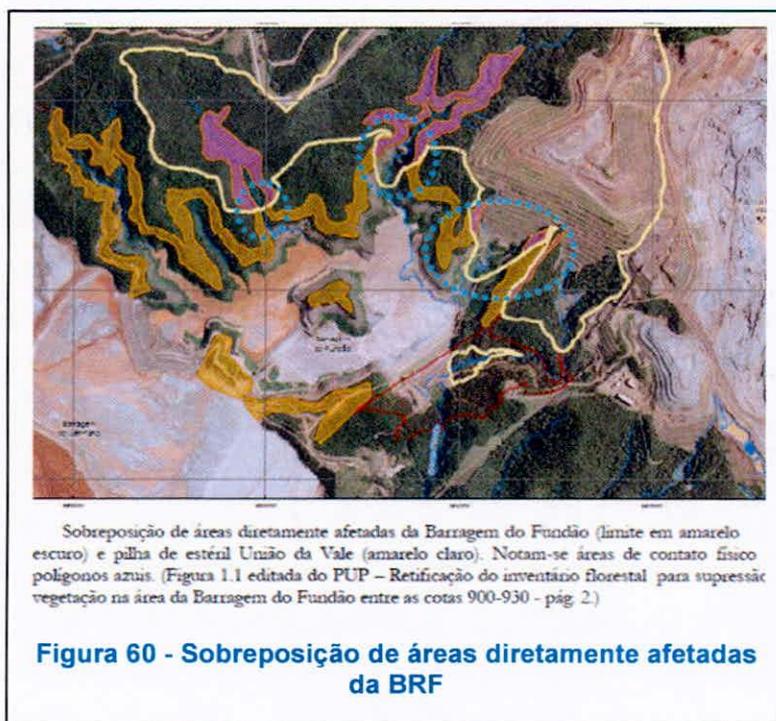
¹⁶ Laudo Técnico em resposta ao Parecer Único Nº 257/2013 disponível em <https://www.earthworksaction.org/files/pubs-others/9.1-laudo-tecnico.pdf> acesso em 02 jan 2016.



- Realização de estudos sobre possíveis impactos do contato entre as estruturas da BRF e a Pilha de Estéril da Mina de Fábrica Nova;
- Manifestação técnica da SUPRAM sobre a segurança da interação entre estes empreendimentos.

11.2.2 Sobreposição de áreas diretamente afetadas da BRF e da PDE

A Análise também chama a atenção sobre as áreas de contato entre a Pilha de Deposição de Estéril (PDE) da Mina de Fábrica Nova e a Barragem de Fundão, conforme mostra a Figura 60:



Esta situação é **inadequada** para o contexto de ambas estruturas, devido à possibilidade de **desestabilização do maciço da pilha e da potencialização de processos erosivos**. Embora todos os programas atuem na prevenção dos riscos, o contato entre elas não é recomendado pela sua própria natureza física. A pilha de estéril requer baixa umidade e boa drenagem; a barragem de rejeitos tem alta umidade.



11.3 Independent Tailings Review Board – ITRB

Relatórios do *Independent Tailings Review Board* (ITRB), de novembro de 2014, bem como julho de 2015, apontam várias situações e fazem uma série de recomendações com relação à BRF.

No relatório de 2014, além de considerações referentes a estudos para alteamentos futuros, são feitas considerações com relação ao fator de segurança da drenagem interna complementar para a cota 920m, considerado insuficiente, e recomenda medidas adicionais de drenagem.

O relatório aponta ainda situações anormais, como “surgência com artesianismo e quantidade significativa de fluxo”, observada em agosto de 2014 a jusante do pé da barragem próximo ao centro do vale na margem esquerda do córrego. Propõe a medição imediata e diária de vazão e turbidez, além da verificação de as-built de poços e furos de sondagem, escavação da área da surgência para determinação do ponto de saída de água, instalação de sistema de medição de vazão e turbidez, análise química da água e instalação de piezômetros em duas profundidades. Embora dentre os relatórios de monitoramento de piezômetros apresentados pela Samarco não haja registro de instrumentos que tenham sido instalados após essa data, o relatório de 2015 indica que foram instalados três equipamentos adicionais próximo à surgência na El. 850m e dois na surgência do pé, sem anormalidade considerável nas leituras, bem como haviam sido completadas análises químicas de água das surgências, também sem anormalidades.

Foram observadas diversas trincas que haviam se aberto na crista da barragem, estendendo-se à praia e às bermas e faces do talude de jusante. Foi observado ainda, na plataforma inferior (pé do talude), levantamento do terreno e saturação de pé. Foi recomendado que a área do recuo fosse preenchida “o mais rápido possível” e que “todos os esforços sejam envidados para completar esse trabalho em regime prioritário”, sendo que a Samarco estimava necessidade de um ano para esse preenchimento. No entanto, em novembro de 2015, ainda estava longe o término do preenchimento da área do recuo do eixo.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Foi ainda apontado que piezômetros no corpo da barragem e em seções próximas das ombreiras mostravam cargas mais elevadas que no centro do vale; e piezômetros e INAs indicavam subpressões elevadas na fundação na região do pé da barragem, de maneira consistente com a surgência observada.

Já no relatório de 2015, são propostas várias medidas, principalmente com relação à drenagem, para viabilizar o projeto de alteamento para a El. 940m, sem reportar anormalidades com relação à situação da barragem naquele momento. Não faz qualquer menção a eventual preenchimento da área do recuo do eixo, apontado como prioridade no relatório anterior.

12 LINHA DO TEMPO – HISTÓRICO DA BRF

A Tabela 18 apresenta os principais eventos da BRF, desde o início de sua operação em 2008 até o dia do seu rompimento, em 05/11/2015.

Tabela 18 - Linha do tempo da BRF

| ANO | DATA | EVENTO | FONTE |
|------------|-------------|---|--|
| 2008 | 02/Dez | Início da deposição de rejeitos | Arquivo [samarco fundão histórico volume rejeitos.pdf] |
| 2009 | Abril | Forte percolação no talude de jusante do Dique 1, a poucos metros do dreno de fundo principal, em cota superior a este (por volta de El. 820.00m), provocando processo erosivo interno em seu maciço. O lançamento de rejeitos junto ao Dique 1, foi interrompido. | SAMARCO G001600-O-1R1002 |
| 2009 | N.I. | Rebaixamento do lago e Investigações nos drenos de fundo principal e secundário, localizados à jusante e à montante do Dique 1. Foram verificados sinais claros de colmatção, sendo sua recuperação pouco confiável. Os drenos foram completamente removidos da região de saída do talude de montante do Dique 1. | SAMARCO G001600-O-1R1002 |
| 2009 | N.I. | Implantação de um tapete drenante a montante do Dique 1, cota 826. O sistema contou ainda com sistema de descarga de água constituído por 27 tubos dreno (Kananetes), diâmetro de 100mm. | SAMARCO G001600-O-1R1002 |



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| | | | |
|------|-------------|---|---|
| 2010 | Julho | Passagem de rejeito arenoso para jusante do Dique 1 através da galeria principal, desencadeando um cone de sucção. Após inspeções na galeria principal, ficou evidenciada a 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. | SAMARCO G001600-O-1RI002 |
| 2010 | Agosto | Construção do Dique 1A, a montante do Dique 1 (situação de contingência), para que a produção não fosse prejudicada. | - SAMARCO G001624-O-1RT062 - Nota técnica da Pimenta de Ávila - Justificativa para mudança da geometria do arranjo final da barragem do fundão na El.920m |
| 2011 | Jan | Início da obra de recuperação do terreno da fundação da galeria principal através de Jet Grouting, executado por Novatecna, término em junho de 2011. | SAMARCO G001600-O-1RI002 |
| 2011 | 20/Jul | Elaboração de novo projeto do Dique 1 da BRF pela Pimenta de Ávila | SAMARCO G021600-O-130849 |
| 2012 | N.I. | Mudança do eixo do Dique 1 da BRF, sem novo projeto | Informações de engenheiros da Samarco e imagens Google Earth constantes neste relatório |
| 2011 | 08/Nov | Início do reforço do terreno da fundação da galeria secundária através de Jet Grouting, com término em 30/04/2012. | Relatório técnico da Pimenta de Ávila sobre o acompanhamento da obra de execução de colunas em jet grouting para reforço da fundação da galeria secundária da barragem do fundão. |
| 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. | SAMARCO G001600-O-1RI002 e entrevista com o Eng. Germano |
| 2012 | 1º semestre | Sinkhole na região do recuo do eixo, El. junto à ombreira esquerda | Reunião Samarco 01/12/15, Imagem Google Maps 05/07/12 |
| 2012 | 12/Dez | Início do plugamento (concretagem) das galerias principal e secundária, com término em 11/09/13 | ART Construtora GMaia, N° 1420130000001199616 |
| 2013 | Jan | Início da construção do quarto extravasor, junto à ombreira direita | Relatório Anual de Lavra 2013 e entrevista com Eng. Germano |
| 2013 | 18/Fev | Projeto de drenagem da PDE União (Vale) pela VOGBR | ART VOGBR, 18/02/2013 |
| 2013 | Agosto | Surgência na El. 855.00m ombreira esquerda do Dique 1. | Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR (SAMARCO G001600-O-1RI002) |



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| | | | |
|------|---------|--|--|
| 2013 | Set | Início de execução da obra de drenagem junto ao pé da PDE União (Vale) | Relatório mensal N° 1 elaborado pela BVP Engenharia (SAMARCO G001613-0-1RA065) |
| | Nov | Surgência na ombreira esquerda, El. 860.00m, com saturação na face do talude e desmoronamento localizado. | Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR (SAMARCO G001600-O-1RI002) |
| 2014 | Jan | Prolongamento do quarto extravasor e extravasor auxiliar da BRF – cota 900 | Relatório Anual de Lavra 2014 |
| 2014 | Mar | Término da obra de drenagem junto ao pé da PDE União (Vale) | Relatório mensal N° 6 da BVP Engenharia (Samarco G001613-O-1RA070) - Foto de Relatório Samarco de 30/03/2014 entregue ao MTPS em 30/12/15 |
| 2014 | Março | Início do projeto executivo da drenagem interna complementar da BRF, junto à ombreira esquerda, elaborado por VOGBR, visando alteamento até El. 940m | ART da VOGBR, de 17/10/2014 |
| 2014 | 27/Ago | Surgimento de trincas longitudinais na região do recuo do eixo, El. 862m a El. 863m, em taludes e bermas de diques à jusante, até chegar na crista (El. 885m), avançando sobre a praia de rejeitos. | Relatório ITRB N° 11, de 20/11/2014 Slides em ppt produzidos por Samarco: Trincas Dique1 |
| 2014 | N.I. | Surgência ombreira direita, El. 850m. | Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR (SAMARCO G001600-O-1RI002) |
| 2014 | 24/Nov | Início obra de drenagem complementar da BRF, na região do recuo do eixo, ombreira esquerda, El. 860m, 1ª Fase da Etapa 1, executada por AC Parceria, fiscalizada por ERG, concluída em janeiro/2015 | Relatório elaborado por ERG (SAMARCO G002400-C-1RT003) |
| 2015 | Janeiro | Surgência na ombreira direita na El. 855.00m | Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR (SAMARCO G001627-O-1RI002) |
| 2015 | Julho | Na ombreira esquerda, na elevação da saída do dreno em Kananetes, ocorre a saturação do talude, sendo provável que esta seja devida à percolação do maciço. | Relatório técnico de segurança regular elaborado por VOGBR (SAMARCO G001600-O-1RI002) |
| 2015 | Maior | Início execução de drenagem complementar da BRF, na região do recuo do eixo, ombreira esquerda, El. 860m, 2ª Fase da Etapa 1, executada por Skava Minas, acompanhada pela VOGBR, término em agosto/2015. | Relatórios técnicos mensais, elaborado por VOGBR, (SAMARCO G001600-O-1RT015 e 16) |



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| | | | |
|------|--------|---|---|
| 2015 | Agosto | Início de obras de drenagem complementar da BRF executadas por Integral Engenharia: - Junto à ombreira direita, El. 895m, tapete drenante (estava em execução quando do rompimento da BRF); - Junto à ombreira direita, no terreno natural, escavações para implantação de dreno complementar (estava em execução quando do rompimento da BRF); - Junto à ombreira esquerda, trechos 1 e 2 da Etapa 2, El. 860m (concluídos no rompimento da BRF); - Junto à ombreira esquerda, trecho 3 da Etapa 2, El. 860m (não iniciado). | Informações colhidas em entrevistas junto aos Engenheiros da Samarco e trabalhadores da Integral Engenharia |
| 2015 | SET | Lançamento de rejeito arenoso na região do recuo do eixo, junto à ombreira esquerda, sobre o dreno lançado na El. 860m. Rejeito arenoso lançado por VIX, sobre supervisão da Samarco. | Relatório técnico mensal, elaborado por VOGBR, (SAMARCO G001600-O-1RT016) |
| 2015 | OUT | Perda da leitura dos piezômetros automáticos | Reunião SAMARCO 03/12/15 |
| 2015 | 05/Nov | Rompimento da BRF | |

N.I. – Não informado o mês nos relatórios citados

13 CONCLUSÃO

Acidentes ampliados como esse não possuem uma causa única, mas resultam de uma combinação de fatores acumulados ao longo do tempo que levam a sua ocorrência, cuja origem pode ser explicada por decisões técnico-organizacionais tomadas ao longo da história do sistema.

As surgências ocorridas em 2013, 2014 e 2015 e as grandes trincas que surgiram em 2014 na região do recuo do eixo, na ombreira esquerda, com saturação do solo naquela região, demonstram 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, pode-se inferir ter sido a liquefação o fenômeno que atingiu a barragem em 05/11/2015, levando-a a ruptura total, que se iniciou na região do recuo do eixo, junto à ombreira esquerda.

A seguir listamos os fatores causais que, em maior ou menor grau, contribuíram para a ocorrência do acidente, começando pelos mais imediatos, mas não necessariamente os



mais importantes, aos mais distantes, também chamados de latentes ou sub-latentes, com contribuição estrutural.

13.1 Dispositivos de monitoramento ausentes por supressão e/ou inoperantes

Uma barragem de rejeitos de mineração não é uma estrutura que é construída e depois, simplesmente utilizada. O represamento de rejeitos é um processo dinâmico, em que os diques são constantemente elevados enquanto os rejeitos são depositados, acompanhando o aumento do seu nível no reservatório. Especialmente nas barragens alteadas a montante, como é o caso da BRF, esse processo demanda ainda constante monitoramento, já que novos diques são construídos sobre rejeitos, que teoricamente deveriam estar compactados e drenados quando do início do alteamento, podendo ocorrer penetração ou percolação de água e outros fenômenos de desgaste que prejudiquem sua estabilidade.

Um dos equipamentos fundamentais para monitoramento da segurança de uma barragem de rejeitos são os piezômetros e indicadores de nível de água. Os piezômetros servem para monitorar a altura da coluna d'água em seu interior que corresponde à pressão freática naquele ponto da barragem. Uma alta pressão freática pode indicar a penetração (percolação) de água da represa para dentro da estrutura da barragem, enfraquecendo-a e contribuindo para o fenômeno de liquefação. Já os indicadores de nível monitoram o nível freático, parâmetro fundamental para segurança especialmente nas barragens alteadas a montante.

Para possibilitar as obras de infraestrutura para alteamento da barragem da elevação 900m para 920m, que tiveram início em agosto de 2015, linhas de piezômetros tiveram de ser desativadas. Alguns deles já tinham perdido suas leituras naquele ano. Em 03/11/2015, dois dias antes do acidente, a empresa MGA, que dava manutenção nos equipamentos, foi chamada para efetuar manutenção na linha inferior de piezômetros, que estava sem comunicação (esses piezômetros tinham monitoramento remoto *wireless*) devido a problemas técnicos, já que a linha superior deveria ser retirada. O reparo teria sido executado no mesmo dia, mas, segundo o técnico da MGA, a comunicação até a central de monitoramento da Samarco não chegou a ser testada.



Caso os equipamentos de monitoramento estivessem em perfeito funcionamento, talvez tivesse sido possível detectar alterações em suas leituras e possibilitado ao menos minimizar as consequências da tragédia.

13.2 Dispositivo de monitoramento inexistente

Além dos piezômetros e indicadores de nível, outro equipamento importante no monitoramento de barragens são os inclinômetros, utilizados para mensurar deslocamentos horizontais, superficiais e em subsuperfície nos taludes de barragens.

O Manual de Operações da Barragem de Rejeitos de Fundão (revisão 2012), elaborado pela empresa Pimenta de Ávila, assim como o Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) da Samarco (revisão 1 de 20/03/2015 - item 13.10 - Estabilidade de maciços), estabeleciam a instalação e leitura periódica de inclinômetros como forma de monitoramento da estabilidade da barragem. Apesar da tentativa de instalação de um inclinômetro no início da operação da barragem, tal equipamento jamais chegou a operar efetivamente e outros inclinômetros nunca chegaram a ser instalados.

Novamente, caso instalados, operacionais e monitorados, inclinômetros poderiam ter dado indicação precoce de tendência de movimentação nos taludes, permitindo seu reforço tempestivo, ou, pelo menos, o aviso imediato ante à ruptura, com tempo para que trabalhadores e a comunidade evacuassem as áreas de risco.

13.3 Não cumprimento de programa de manutenção

Além da instalação dos dispositivos, como piezômetros, medidores de nível e inclinômetros, é necessário seu constante monitoramento, o que integra o processo de operação e manutenção da barragem. Como já citado, vários deles estavam inoperantes ou sequer haviam sido instalados. Ainda assim, vários dos equipamentos (piezômetros e indicadores de nível) que estavam em funcionamento não eram monitorados como deveriam. Segundo o setor de Geotecnia da Samarco, a leitura de piezômetros instalados no tapete da drenagem



interna da cota 826 havia sido "perdida" há algum tempo. Na data do acidente havia dezenas de piezômetros e indicadores de nível de água operantes, cuja leitura era realizada semanalmente, em campo, mas a Samarco não possuía os dados de monitoramento de todos eles.

Em 06/11/2015, dia seguinte ao acidente, por ocasião da ação fiscal que se iniciava, foi exigida a apresentação dos relatórios de monitoramento de percolação, movimentação e estabilidade das barragens de rejeitos, conforme item 22.26.2 da NR-22, que, contudo, não chegaram a ser apresentados.

Relatórios de monitoramento posteriormente apresentados contemplam o monitoramento de piezômetros e indicadores de nível, em sua maioria, apenas até meados de outubro/2015. Apenas o indicador de nível 14LI020 tem registro de monitoramento até o final de outubro; os piezômetros 16PI017 e 16PI018 têm registro de monitoramento somente até o final de setembro/2015.

13.4 Adiamento de neutralização / eliminação de risco conhecido

Laudos Técnicos de Segurança, elaborados pela empresa VOGBR, ano após ano, chegaram a apontar instrumentos (piezômetros e indicadores de nível de água) acima dos níveis normais, alguns chegando até a indicar nível de emergência.

No entanto, nenhuma medida contundente foi tomada pela Samarco com o intuito de investigar as causas das anormalidades e saná-las, além da mera instalação de novos instrumentos. A leitura desses novos instrumentos, no entanto, não chegou a ser criticamente analisada, já que, para tal, precisavam constar da Carta de Risco da Barragem, que havia sido elaborada em 2013 pela empresa GEOFAST.

Os Laudos Técnicos de Segurança recomendavam, também ano após ano, 2013, 2014 e 2015, a revisão da Carta de Risco, para atualização dos dados e inclusão dos novos instrumentos, revisão que não chegou a ser feita até o rompimento da barragem.

Em 2014 foram observadas na região do recuo do eixo na ombreira esquerda, segundo relatório do ITRB (*Independent Tailings Review Board*), diversas trincas que haviam se aberto na crista da barragem, estendendo-se à praia e às bermas e faces do talude de jusante. Foi observado ainda, na plataforma inferior (pé do talude), levantamento do terreno e saturação de pé. Tais situações já indicavam a iminência de um processo de ruptura nessa região.



O relatório do ITRB, de novembro de 2014, recomendava que a área do recuo deveria ser preenchida “o mais rápido possível” e que “todos os esforços sejam envidados para completar esse trabalho em regime prioritário”, sendo que a Samarco estimava necessidade de um ano para esse preenchimento. No entanto, em novembro de 2015, pode-se afirmar que não havia sido completado o preenchimento da área do recuo do eixo.

13.5 Falta de critérios para correção de inconformidades

A BRF apresentou, desde o início de sua operação, em dezembro de 2008, diversos problemas estruturais.

Em abril de 2009 foi observada uma forte percolação com processo erosivo interno do maciço e carreamento de material do aterro, o que levou à decisão da interrupção do lançamento de rejeitos, esgotamento emergencial do reservatório (que estava em fase inicial de enchimento), e implantação de diversas medidas saneadoras. Foi verificado que a região da saída do dreno de fundo estava em desacordo com o projeto e fora obstruída, havendo contaminação por solo nas camadas de brita dos drenos, que tiveram que ser completamente removidos. A drenagem teve que ser reprojeta para outra cota e com utilização de sistema de descarga por tubos-dreno.

Em 2010, ocorreu passagem de rejeito arenoso, através de junta de dilatação que se rompeu para a galeria de drenagem principal, gerando um cone de sucção (*sinkhole*) na região da ombreira direita. O rompimento da junta teria ocorrido em razão de recalque na fundação, que havia sido construída sobre solo mole. Foram ainda verificadas trincas no concreto e juntas com vazamento na galeria secundária. Em 2011 e 2012 foi executada recuperação do terreno por processo de consolidação do solo denominado "*Jet Grouting*", nas galerias principal e secundária.

Em 2012, no entanto, novamente houve surgimento de *sinkhole*, dessa vez na região da ombreira esquerda, na elevação 855m. Novamente a causa teria sido recalque da fundação, que causou abertura das juntas da galeria secundária. Foi feito um estudo que identificou elevado gradiente hidráulico na ombreira esquerda, que estaria relacionado com o nível de água elevado na região da Pilha de Depósito de Estéril União, da mina de Fábrica Nova da Vale S/A, que chegava a formar um lago próximo a essa área.

Em face desses problemas decidiu-se construir um novo sistema extravasor, com drenagem por tubos de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e concretar (plugar) as duas galerias. Em função disso, embora o projeto da barragem previsse alteamentos mantendo-se o eixo do dique original, a Samarco optou por fazer o desvio deste eixo através de recuo na elevação



855-860m, com taludes em "S", formando um platô nessa região, sem que para isso fosse feito qualquer projeto ou cálculo de engenharia de maneira a garantir a segurança da nova geometria, conforme descrito adiante.

Em 2014, conforme apontado no item acima, segundo o relatório do ITRB de novembro de 2014, foram observadas na região do recuo do eixo na ombreira esquerda diversas trincas e áreas saturadas, e, apesar da recomendação de preenchimento da área o mais rápido possível, o preenchimento, estimado inicialmente para demorar um ano, não chegou a ser feito.

Pode-se perceber, portanto, que a barragem teve problemas crônicos ao longo de toda sua operação, que, obviamente, não foram efetivamente sanados.

13.6 Ausência de projeto

Conforme relatado, o início do rompimento deu-se no recuo formado pelo desvio do eixo do dique, próximo à ombreira esquerda. Este desvio não era consistente com o projeto original da barragem, de 2006-2007, elaborado pela empresa Pimenta de Ávila, que contemplava alteamentos até a elevação 920m. O projeto original previa um desvio do eixo na elevação 845m com taludes praticamente em linha reta, com pequena convexidade junto à ombreira direita, desenho característico em barragens para que o apoio das ombreiras suportasse as cargas. Mesmo esse projeto, no entanto, segundo o projetista, foi tornado obsoleto e substituído por projeto feito em 2011-2012, que previa taludes convexos até a elevação 920m, sem qualquer desvio do eixo.

Embora a Samarco tenha informado que o recuo fora feito observando-se as premissas do projeto original (altura e inclinação dos taludes e largura das bermas), **não foi feito qualquer projeto ou mesmo cálculo de engenharia que pudesse atestar a resistência e estabilidade dessa nova conformação do eixo.**

Além disso, o recuo feito na elevação 855-860m, avançou sobre a praia de rejeitos em cerca de 130m. Os taludes, onde relatos indicam que se iniciou a ruptura, foram erguidos sobre rejeitos que poderiam não estar completamente sedimentados e drenados, comprometendo sua estabilidade. A velocidade de alteamento das barragens alteadas a montante deve considerar as propriedades dos rejeitos, para que haja tempo para a drenagem e compactação natural do material sobre o qual serão construídos os alteamentos. Considerando-se a altura e inclinação dos taludes e largura das bermas seguidos, de cerca de 50m de recuo para cada 20m de alteamento, a uma taxa de cerca de 10m a 15m por ano, como vinha ocorrendo, pode-se concluir que o recuo corresponde em uma antecipação no tempo necessário para que o rejeito lançado pudesse ser naturalmente drenado e ter a linha do nível freático da barragem rebaixada.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Conforme relatos de testemunhas em entrevistas realizadas na SRTE-MG, o início da ruptura da barragem começou justamente na base do talude erguido sobre o platô de elevação 860m formado pelo recuo no eixo do dique, de uma maneira consistente com o fenômeno de liquefação, que ocorre quando o solo saturado ou parcialmente saturado perde agregação e passa a agir como uma massa líquida. A liquefação pode ocorrer por diversos fatores, dentre eles o aumento da pressão freática, abalos sísmicos (naturais ou induzidos), detonações de rochas e movimentação de equipamentos pesados sobre a estrutura, e acontece principalmente em solos arenosos e não compactados, novamente consistente com as características da praia de rejeitos arenosos sobre a qual foram construídos os taludes.

O potencial para liquefação do solo pode ser avaliado a partir de estudos especializados. Todavia, nenhum estudo dessa natureza chegou a ser feito até a data do desastre, ocasião em que a barragem encontrava-se na cota 900m e seria alteada para a cota 920m. Segundo a empresa VOGBR, a Samarco havia lhes encomendado um estudo de liquefação para futuro alteamento da barragem da cota 920m para 940m (os projetos até então consideravam alteamento apenas até a cota 920m), que não chegou a ser feito. **O estudo de liquefação do solo para a cota 900m, caso tivesse sido feito, poderia, constatado o alto potencial para liquefação, determinar medidas de segurança, como reforços ou diminuição de taxa de alteamento, prevenindo o acidente.**

Embora tenha havido relatos de tremores de terra sentidos no escritório da mineradora algumas horas antes do acidente, confirmados por estações de monitoramento que colocam seus epicentros próximos da barragem, não se pode afirmar se os tremores causaram (ou foram causa contributiva para) o rompimento ou foram meramente consequência de movimentação do próprio material da barragem que já se encontrava em processo de ruptura iminente. Sismos podem também ser induzidos por grande deposição ou retirada de material que naturalmente se acomoda, e são comumente observados em regiões de barragem, onde há grande carregamento do terreno ao longo do tempo. Não obstante, a magnitude dos tremores (mR de 2.0 a 2.6) não seria suficiente para iniciar por si só o processo de ruptura de uma estrutura sã e construída segundo os princípios da engenharia. É oportuno ainda citar que todos os trabalhadores sobreviventes entrevistados que se encontravam na barragem antes de sua ruptura relataram não ter percebido qualquer tremor anormal até que o processo tivesse sido deflagrado.



13.7 Falta de manutenção preventiva

Nos Laudos Técnicos de Segurança anuais elaborados pela VOGBR são apontadas, recorrentemente, diversas irregularidades que indicam falta de manutenção preventiva, como erosão na face dos taludes, trincas e outros danos em canaletas de drenagem, falta de canaletas de drenagem com lançamento de água diretamente sobre bermas, falta de cobertura vegetal (grama), presença de vegetação natural em taludes, e obstrução de canais de drenagem. Dessa forma fica evidenciado que a manutenção da superfície da BRF era feita apenas de forma corretiva, já que as mesmas irregularidades eram apontadas ano após ano. Ainda, como pode-se observar por fotos aéreas e de satélite anteriores ao rompimento, os taludes a partir da elevação El. 860m não possuíam qualquer cobertura vegetal.



Página 121



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

14 ANEXOS

ANEXO 1 – AUTOS DE INFRAÇÃO

| | Nº auto | Descrição | Capitulação |
|----|-----------|---|--|
| 1 | 206873051 | Deixar de exibir ao AFT, quando exigidos, quaisquer documentos que digam respeito ao fiel cumprimento das normas de proteção ao trabalho | (Art. 630, § 3º, da Consolidação das Leis do Trabalho) |
| 2 | 206873077 | Deixar de prestar ao AFT os esclarecimentos necessários ao desempenho de suas atribuições legais. | (Art. 630, § 3º, da Consolidação das Leis do Trabalho.) |
| 3 | 208834249 | Deixar de prestar ao AFT os esclarecimentos necessários ao desempenho de suas atribuições legais. | (Art. 630, § 3º, da Consolidação das Leis do Trabalho.) |
| 4 | 209088788 | Manter empregado trabalhando em dias feriados nacionais e religiosos, sem permissão da autoridade competente e sem a ocorrência de necessidade imperiosa de serviço. | (Art. 70 da Consolidação das Leis do Trabalho.) |
| 5 | 209090413 | Prorrogar a jornada normal de trabalho, além do limite legal de 2 (duas) horas diárias, sem qualquer justificativa legal. | (Art. 59, caput c/c art. 61, da Consolidação das Leis do Trabalho.) |
| 6 | 209090545 | Deixar de conceder ao empregado um descanso semanal de 24 (vinte e quatro) horas consecutivas. | (Art. 67, caput, da Consolidação das Leis do Trabalho.) |
| 7 | 209090812 | Deixar de conceder período mínimo de 11 (onze) horas consecutivas para descanso entre duas jornadas de trabalho. | (Art. 66 da Consolidação das Leis do Trabalho.) |
| 8 | 209104481 | Manter depósito de estéril e/ou de rejeitos e/ou de produtos e/ou barragem e/ou área de armazenamento e/ou bacia de decantação que não sejam construídos em observância aos estudos hidrogeológicos e/ou em desacordo com normas ambientais e/ou com as Normas Reguladoras de Mineração e/ou com as especificações das normas técnicas da ABNT aplicáveis, especialmente a ABNT NBR 11682:2009 e suas alterações. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.26.1 da NR-22, com redação da Portaria nº 732/2014.) |
| 9 | 209122633 | Manter depósito de estéril e/ou de rejeitos e/ou de produtos e/ou barragem sem a supervisão de profissional habilitado e/ou sem monitoramento da percolação de água e/ou da movimentação e estabilidade e/ou do comprometimento do lençol freático. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.26.2 da NR-22, com redação da Portaria nº 2.037/1999.) |
| 10 | 209154870 | Permitir que os profissionais integrantes do Serviço especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho deixem de exercer as competências definidas na NR-4. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 4.12 da NR-4, com redação da Portaria nº 33/1983.) |
| 11 | 209156147 | Deixar de zelar pelo cumprimento da NR-22 ou deixar de prestar as informações necessárias ao órgão fiscalizador. | Deixar de zelar pelo cumprimento da NR-22 ou deixar de prestar as informações necessárias ao órgão fiscalizador. |
| 12 | 209156384 | Deixar de elaborar e/ou de implementar o Programa de Gerenciamento de Riscos. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.3.7 da NR-22, com redação da Portaria nº 2.037/1999.) |
| 13 | 209156651 | Deixar de indicar ao órgão fiscalizador os técnicos responsáveis de cada setor da mineração. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.3.1.1 da NR-22, com redação da Portaria nº |



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

| | | | |
|----|-----------|--|--|
| | | | 2.037/1999.) |
| 14 | 209165146 | Deixar de realizar o monitoramento periódico da exposição dos trabalhadores e das medidas adotadas, nos locais onde haja geração de poeiras ou realizar monitoramento periódico da exposição dos trabalhadores e das medidas adotadas, nos locais onde haja geração de poeiras. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.17.1 da NR-22, com redação da Portaria nº 2.037/1999.) |
| 15 | 209165162 | Deixar de contemplar, no Programa de Gerenciamento de Riscos, os aspectos relacionados à | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.3.7, alínea "e", da NR-22, com redação da Portaria nº2.037/1999.) |
| 16 | 209165171 | Deixar de incluir, no Programa de Gerenciamento de Riscos, a etapa de acompanhamento das medidas de controle implementadas. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.3.7.1, alínea "d", da NR-22, com redação da Portaria nº2.037/1999.) |
| 17 | 209165189 | Deixar de realizar a análise ergonômica do trabalho, para avaliar a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores ou realizar análise ergonômica do trabalho que não aborde aspectos relacionados ao levantamento, transporte e descarga de materiais e/ou ao mobiliário e/ou aos equipamentos e às condições ambientais do posto de trabalho e/ou à organização do trabalho. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 17.1.2 da NR-17, com redação da Portaria nº 3.751/1990.) |
| 18 | 209165219 | Deixar de adequar a organização do trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores e/ou à natureza do trabalho a ser executado. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 17.6.1 da NR-17, com redação da Portaria nº 3.751/1990.) |
| 19 | 209165243 | Deixar de incluir, no Programa de Gerenciamento de Riscos, a etapa de estabelecimento de prioridades, metas e cronograma. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.3.7.1, alínea "c", da NR-22, com redação da Portaria nº2.037/1999.) |
| 20 | 209165251 | Deixar de contemplar, no plano de emergência, a definição de sistema de comunicação e sinalização de emergência, abrangendo os ambientes internos e externo. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.32.1, alínea "h", da NR-22, com redação da Portaria nº2.037/1999.) |
| 21 | 209165278 | Deixar de contemplar, no plano de emergência, a articulação entre a empresa e os órgãos da defesa civil. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.32.1, alínea "i", da NR-22, com redação da Portaria nº2.037/1999.) |
| 22 | 209165308 | Deixar de realizar simulações anuais do plano de emergência, envolvendo o contingente da mina diretamente afetado. | (Art. 157, inciso I, da CLT, c/c item 22.32.3 da NR-22, com redação da Portaria nº 2.037/1999.) |
| 23 | 209166673 | Admitir ou manter empregado sem o respectivo registro em livro, ficha ou sistema eletrônico competente. | (Art. 41, caput, da Consolidação das Leis do Trabalho.) |



ANEXO 2 – GLOSSÁRIO

ALTEAMENTO

Aumentos sucessivos da altura de uma barragem.

BARRAGEM

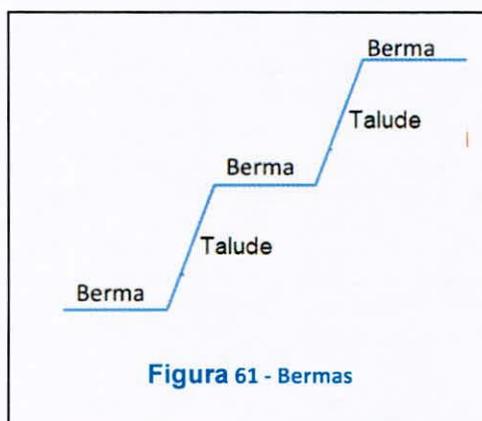
Qualquer estrutura que forme uma parede de contenção para rejeitos, para sedimentos e/ou para formação do reservatório de água.

BARRAGEM DE REJEITO

Estrutura para disposição dos rejeitos da mineração que deve oferecer armazenamento seguro do material de rejeito proveniente do processo de beneficiamento do minério, visando minimizar os impactos socio-ambientais.

BERMA

Aterro sedimentado entre taludes. A largura e o ângulo da berma são dimensionados de forma a garantir a estabilidade do talude e a facilitar a drenagem. A Figura 61 apresenta um diagrama esquemático de bermas e taludes.



COLMATAÇÃO

Carreamento de material sólido através dos drenos que pode ter como consequência a obstrução dos vazios de material drenante com consequente diminuição de sua permeabilidade.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

COTA

Indicação de uma medida, que aparece nos desenhos técnicos a uma determinada escala. No caso de barragens em geral, cota se refere a altura em relação ao nível do mar.

CRISTA

Cota da superfície superior da barragem.

DRENAGEM

No contexto das barragens de rejeitos, é o processo pelo qual a água (tanto a presente no rejeito quanto a pluvial e proveniente de nascentes e cursos naturais) é separada o material sólido, e escoada para a jusante da barragem, normalmente por gravidade. Costuma ser feito por uma combinação de tapetes drenantes (pedras, britas e areias de granulação variada), tulipas, dutos, canaletas, galerias e extravasores. Caso não houvesse drenagem, a capacidade de contenção de rejeitos seria substancialmente reduzida, com a formação de um lago, o que também poderia inviabilizar o alteamento da barragem.

DIQUE

É a barreira construída para conter os rejeitos, a barragem propriamente dita. Em barragens de rejeitos de mineração costuma ser construído com solo compactado. No caso da Barragem de Fundão, após a construção do "dique de partida" (primeiro dique construído, antes de qualquer deposição de rejeitos), os alteamentos seguintes, segundo seu manual de operação, eram feitos com o rejeito arenoso da praia de rejeitos, empilhado e compactado, coberto por solo e cobertura vegetal (grama).

ESTÉRIL

Rejeitos sólidos (secos) da mineração, que não possuem, num determinado momento, valor comercial que compense a extração do minério nele contido, normalmente devido à baixa concentração. Costuma ser empilhado em Pilhas de Depósito de Estéril (PDE), para que possam ser aproveitados em um momento futuro, quando, por exemplo, do esgotamento das jazidas, para aproveitar a estrutura de beneficiamento já implantada.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

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.

KANANETE

(KANANET) Modelo de tubo do fabricante Kanalex representado por um tubo dreno fabricado em PEAD (Polietileno de Alta Densidade), destinado a coletar e escoar o excesso de líquido infiltrado no solo.

INCLINÔMETRO

Instrumento utilizado para o monitoramento de inclinação ou movimentação de uma encosta. Permite detectar tendências de deslizamento ou cisalhamento, indicativos de possível ruptura da barragem.

JET-GROUTING

Procedimento de injeção, sob alta pressão, de uma mistura de solo-cimento como forma de reforço do solo ou melhoria de suas propriedades, como por exemplo, permeabilidade.

JUSANTE

É a face de uma barragem (muro de contenção, dique) que não fica em contato com o material armazenado, isto é, é a face oposta à face de montante. (BASTOS, F. DE ASSIS A. **Problemas de mecânico dos fluídos**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1987.

LEIRA

Disposição linear de terra lançada nas laterais de bancadas ou estradas onde houver risco de quedas de veículos.



LIQUEFAÇÃO

É o escoamento fluido das areias, provocado pelo acréscimo da pressão neutra e consequente decréscimo da resistência ao cisalhamento do solo. (CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988).

O processo de liquefação diz respeito à perda total ou parcial da resistência de um solo em virtude da perda de peso, devido às pressões geradas por um fluxo ascendente de água. Quando as forças de percolação, agindo verticalmente de baixo para cima, tornam-se iguais ao peso submerso do solo, as tensões efetivas no mesmo reduzem-se a zero. Como consequência ocorre a liquefação: a perda de coesão do solo e sua capacidade de suporte são reduzidas a zero. (Azevedo & Albuquerque Filho. 1998)

MACIÇO

É uma porção compacta de solo ou de rocha, por exemplo, uma barragem. (BASTOS, F. DE ASSIS A. Problemas de mecânico dos fluídos. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1987).

MONTANTE

É a face de uma barragem (muro de contenção, dique) que fica em contato com o material armazenado. (BASTOS, F. DE ASSIS A. **Problemas de mecânico dos fluídos**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1987).

OMBREIRA

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.

PERCOLAÇÃO

É a passagem de água pelos vazios de um solo.

Página 127



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

PERMEABILIDADE

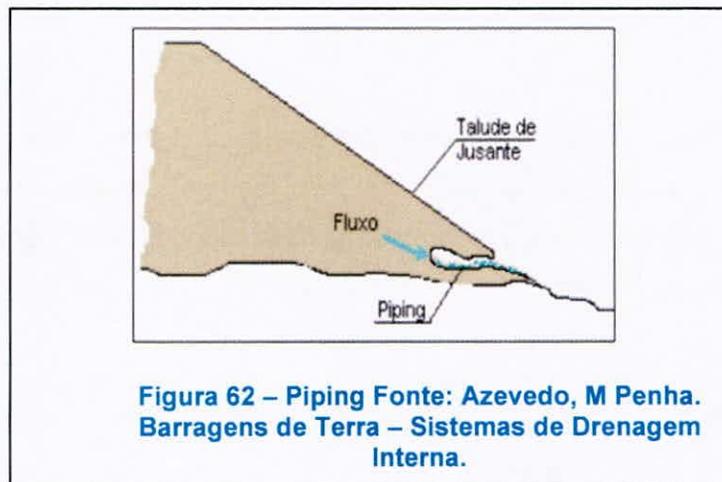
Propriedade dos solos relativa à capacidade de permitir o escoamento de água.

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.

PIPING

Erosão interna ou regressiva (que não ocorre na superfície, caracterizada pela desagregação e carreamento de partículas de solo). O *Piping* é chamado de erosão regressiva porque seu avanço é no sentido contrário do fluxo conforme mostra a Figura 62. Para se evitar a formação do *Piping* é necessário que a granulometria do filtro drenante impeça o carreamento de solo do maciço. Em outras palavras, os vazios do filtro drenante devem ser suficientemente pequenos para se garantir que o solo não migre através deles.





POROPRESSÃO

Pressão da formação ou pressão de poros é a pressão que um fluido exerce no interior dos poros dos elementos porosos como os solos e as rochas.

PRAIA

Extensão a montante do reservatório onde é depositado o rejeito arenoso. O rejeito de finos (lama) deve ser depositado além da praia, o mais distante possível dos alteamentos.

RECALQUE

Deslocamento vertical para baixo, sofrido pela base da fundação em relação à superfície do terreno. Afundamento de um solo.

REJEITO

Todo e qualquer material não aproveitável economicamente, gerado durante o processo de beneficiamento de minério. Entende-se por rejeitos os resíduos resultantes de processos de beneficiamento a que são submetidos os minérios, visando extrair os elementos de interesse econômico (produto final). Esses processos têm a finalidade de regularizar o tamanho dos fragmentos, remover minerais associados sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou teor do produto final. Os procedimentos empregados para esse fim são muito variados, pois dependem basicamente do tipo e da qualidade do minério a ser extraído (ESPÓSITO, 2000). Em função do tipo de minério processado e dos tratamentos adotados podem ser encontrados rejeitos com variadas características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas. Os rejeitos, quando de granulometria fina, são denominados lama, e quando de granulometria grossa (acima de 0,074 mm), são denominados rejeitos granulares (ESPÓSITO, 2000).

RESERVATÓRIO

Espaço criado a montante da barragem, destinado à contenção de rejeitos, sedimentos e/ou preservação de água. Acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

SEDIMENTO

Todo e qualquer particulado sólido gerado por erosão e carreado superficialmente pela água.

SEDIMENTAÇÃO

Processo de formação ou acumulação de sedimento em camadas de uma mistura. No caso de rejeitos barragem de rejeito de minérios a fase mais densa ou sólida, por ação da gravidade, deposita-se no fundo da barragem e separando da fase líquida menos densa.

SINK-HOLE

Sumidouro ou cavidade no solo ou erosão causada por água, proporcionando uma rota ou caminho para as águas superficiais em direção ao subsolo

STOP-LOGS

Também conhecidas por comportas ensecadeiras (Pequena barragem, provisória, construída para desviar o rio ou fluxo de água, a fim de secar a região). São constituídas de painéis utilizados para vedar a entrada de água em recintos onde haja necessidade de efetuar trabalhos de inspeção ou manutenção a seco, como nas turbinas ou barragens, por exemplo. Terminados esses trabalhos, eles são retirados e o fluxo da água restabelecido. Essa comporta é composta por vários painéis, que por serem leves, não se prestam a cortar um fluxo de água em movimento.

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



TALUDE

Talude é um plano de terreno inclinado que limita um aterro e tem como função garantir a estabilidade do aterro. Pode ser resultado de uma escavação, de origem natural ou de deposição de material. No caso de barragens alteadas a montante o talude é constituído por meio da deposição do próprio rejeito. A Figura 63 apresenta uma série de taludes.

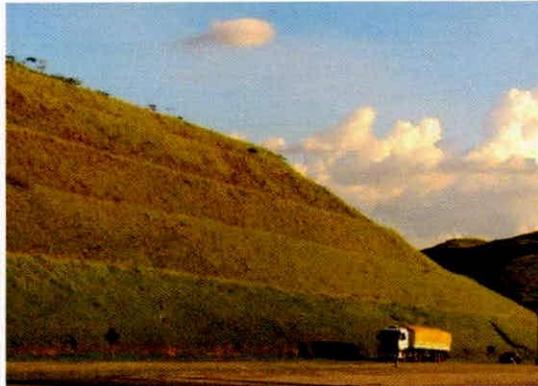


Figura 63 - Taludes

TAPETES DRENANTES

Drenos de pé e valas drenantes têm a função de coletar quaisquer eventuais infiltrações, evitando rupturas internas ou *empocamento* da água no pé do talude de jusante da barragem. A Figura 64 mostra um diagrama esquemático da seção transversal de barragem de terra, com ênfase nos tratamentos do pé de jusante da barragem e de sua fundação impermeável por meio de tapete e vala drenante. Fonte: Esteves, 19964 apud Soares (2010)¹⁷.

¹⁷ Soares, L. in: Barragens de Rejeitos, CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Processos Minerários. Rio de Janeiro, Agosto/2010. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Capítulo 19 – pág. 831–896. Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina A. França. Rio de Janeiro, Agosto/2010.

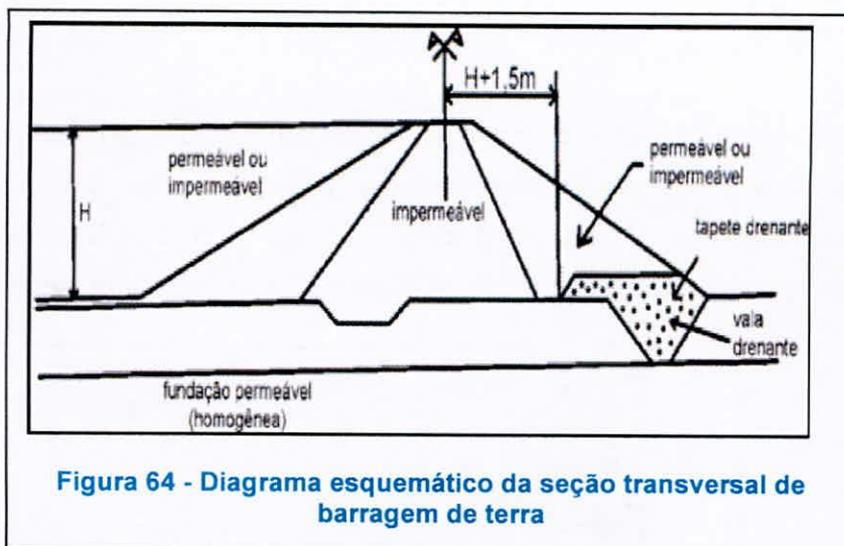


Figura 64 - Diagrama esquemático da seção transversal de barragem de terra

TULIPA

Consiste em uma torre de concreto armado ou tubulação de metal construída dentro do futuro reservatório. Possui “janelas” que possibilitam controlar a altura do nível d’água na qual ocorre a sedimentação dos rejeitos argilosos. Esta torre conduz as águas a uma galeria de fundo que atravessa o maciço da barragem, conduzindo a água até a jusante. Portanto, a construção de um túnel escavado no maciço da ombreira da barragem favorece sobremaneira o transporte da água. É um dos sistemas mais utilizados em função da sua fácil construção, possibilidade de alteamentos, manutenção, limpeza e, finalmente, a ausência de equipamentos mecânicos de operação (Soares, 2010)¹⁸.

A Figura 65 mostra um exemplo de extravasor constituído por torre (tulipa). Extravasor tipo tulipa interligada à galeria de fundo.

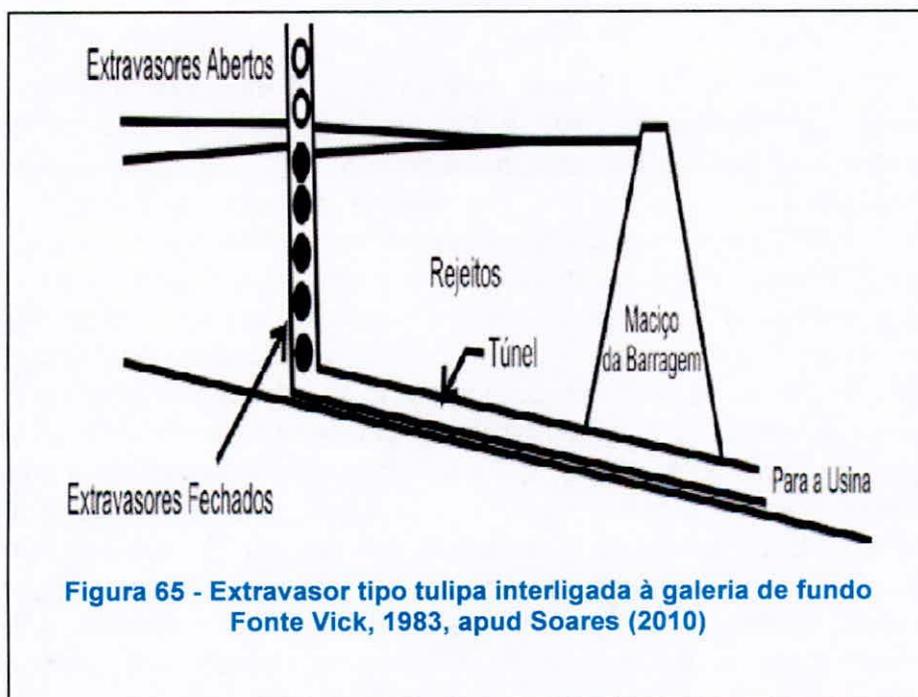
¹⁸ Soares, L. *in: Barragens de Rejeitos*, CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Processos Minerários. Rio de Janeiro, Agosto/2010 Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Capítulo 19 – pág. 831–896. Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cristina A. França. Rio de Janeiro, Agosto/2010.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR



[Handwritten signatures and initials in blue ink]



ANEXO 3 – DEPOIMENTO TRABALHADOR – ROMEU ARLINDO DOS SANTOS

No dia 18/11/2015, o Sr. **Romeu Arlindo dos Santos (Acidentado)**, Técnico de Planejamento de Produção da SAMARCO, relatou que no dia 05 de novembro de 2015, iniciou seu turno de trabalho às 7:00h, participou do DDS – Diálogo Diário de Segurança - e da programação operacional do dia. Em seguida foi com o Engenheiro Wallace para a barragem do Fundão para inspeção visual de rotina da crista, de acessos, do lançamento de rejeitos e dos alteamentos que estavam sendo executados. Depois foi para a barragem de Germano e realizou a inspeção da mesma. Nenhum fato anormal foi detectado nestas inspeções visuais. Retornou para a Usina 2 (base de trabalho) entre 12:00h e 12:30h para almoçar. Às 14:00h foi pegar o Encarregado (não se lembra do nome) da empresa 3T que iria executar o plantio de grama nas faces dos taludes e construção de canaletas à jusante da barragem do Fundão. Passou de carro pela crista da barragem até a ombreira esquerda e desceu até o nível 865,00 para passar as atividades para o Encarregado da 3T. Perto das 15:00h deixou o Encarregado da 3T junto ao extravasor da barragem de Fundão. Após isto, foi se encontrar com o Engenheiro Bruno junto ao dique auxiliar da barragem de Germano. A Eng. Davieli (Gerente de Operação de Barragens) havia pedido ao Eng. Bruno que inspecionasse as barragens em virtude de tremores sentidos pelo pessoal do escritório. Informou o acidentado que ele não sentiu tremores na barragem do Fundão. Inspecionado o dique auxiliar de Germano, passou de carro pela barragem de Sela, Selinha e depois se dirigiu para a crista do Fundão, se deslocando no sentido da ombreira esquerda. Quando estava mais ou menos 300 metros da ombreira direita, parou o carro para verificar o lançamento de rejeito. Neste momento, por volta das 15:20h, sentiu o carro sacudir e a crista começar a rachar. Pedacos de blocos da barragem começaram a se destacar e a cair para jusante, com produção de muita poeira. O carro começou a se inclinar para jusante. Como não tinha condição de continuar em frente de carro, saiu do mesmo e começou a correr em direção à ombreira direita. Viu que o maciço começou a se deslocar todo para jusante. Conseguiu chegar à ombreira direita, começou a subir o talude natural, mas foi apanhado pela onda de rejeitos. Ficou mais ou menos por quinze minutos dentro da onda de rejeitos, que parecia um redemoinho. Tentou agarrar a pedacos de madeira para se manter na superfície e engoliu lama. De repente, a onda de rejeitos se deslocou para o centro da barragem e ele conseguiu permanecer em local fixo, mais ou menos 15 metros de distância do terreno natural. Caminhou até o terreno natural e por lá ficou por cerca de 40 minutos. Passou mal, com dor de cabeça, e começou a vomitar. Tirou botina, calça e camisa que estavam com muita lama. Após os 40 minutos, já se sentia melhor e começou a subir o talude natural, mais ou menos uns 40 metros. Foi avistado por equipe de trabalhadores em solo e cerca de 5 minutos depois chegou uma ambulância, por volta das 17:30h. A ambulância o conduziu direto para o Hospital de Mariana onde recebeu os primeiros socorros. Foi liberado do hospital pelas 22:30h e foi para casa. No outro dia cedo (06/11), não se sentindo bem, retornou para o Hospital de Mariana e à noite foi transferido para o Hospital de Pronto Socorro João XXIII em Belo Horizonte, permanecendo internado até o dia



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

10/11. Retornou à Mariana e lá continuou tomando soro e água via oral no hospital local. Relatou que foi identificado problema nos rins em decorrência do acidente. No dia 12/11, foi liberado do tratamento pelo Hospital de Mariana, devendo lá retornar para novos exames após 15 dias. Está bem no momento, não fazendo uso de medicamentos. Declarou que somente a psicóloga da Samarco conversou com ele, mas que não falou com nenhum membro do SESMT da empresa. Questionado sobre problemas com os sensores dos piezômetros da barragem de Fundão, informou que não foi informado sobre o assunto, mas que viu o pessoal que faz a manutenção dos equipamentos trabalhando lá há alguns dias. Sobre a barragem do Fundão, informou que a mesma saiu do eixo (o alinhamento dela se deslocou para montante) por causa da necessidade de construção de dreno interno junto à ombreira esquerda e de captação de água superficial da pilha de estéril da mineradora Vale. A drenagem interna já estava pronta e a superficial estava em construção. Que a crista da barragem do Fundão estava no nível 900,00.



ANEXO 4 – FONTES E REFERÊNCIAS

ARANHA, Paulo Roberto A. **Terremotos e Barragens**. Notas de aula (s.d.). Apresentação. Depto. Geologia - IGC-UFMG

BASTOS, F. DE A. **Problemas de mecânica dos fluídos**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1987.

BRITO,

BRASIL. **Lei nº 12.334/2010**. 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, e outros.

_____. Ministério de Integração Social. Secretaria de Infraestrutura Hídrica. Manual de segurança e inspeção de barragens. Brasília, julho/2002.

_____. NBR 11682 – Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Estabilidade de encostas. São Paulo, SP. 2009.

_____. NBR 13028 – Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Mineração – elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e preservação de água. São Paulo, SP. 2006.

_____. Portaria Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM – nº 416/2012 – Plano de Segurança de Barragens (PSB)

_____. Portaria Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM nº 526/2015 – Plano de Ações Emergenciais (PAEBM)

_____. Norma Regulamentadora nº 22 – Segurança e Saúde na Mineração. Ministério do Trabalho e Previdência Social.

_____. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Simpósio sobre sismicidade natural e induzida, Setembro, 1979.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

CASTRO, L. V. P. DE. **Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alteada a montante**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas). Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG

SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

CENTRO DE SISMOLOGIA USP. Informes. Tremores de terra em Mariana - MG, Novembro/2015 Disponível em: <http://moho.iag.usp.br/reports/20151106/> Acesso em 25 jan 2016

D'AGOSTINO L. F. **Praia de barragens de rejeitos de mineração**: características e análise da sedimentação. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas). Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GALVÃO SOBRINHO, A. R. DE V. **Metodologia para implantação de um sistema de disposição de rejeitos em minério de ferro na região do semiárido**: estudo de caso. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

MACHADO Romulo et al., **Geologia Geral** - em edição - CAPÍTULO 3: TERREMOTOS E SISMICIDADE NO BRASIL

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

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conselho Estadual de Política Ambiental - **COPAM n° 62/2002**, de 17 de dezembro de 2002. Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais.

_____. Deliberação Normativa Conselho Estadual de Política Ambiental - **COPAM n° 87/2005**, de 17 de junho de 2005. Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais.

OLIVEIRA, J. C. DE. **Gestão operacional das barragens de terra do complexo minerário das minas de ferro Carajás da Vale**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Minas Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

REZENDE, V. A. **Estudo do comportamento de barragem de rejeito arenoso alteada por montante**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.


Página 137



MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO TRABALHO E EMPREGO EM MG
SEÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SEGUR

Belo Horizonte, 22 de abril de 2016.

Marcos Ribeiro Botelho / CIF 35050-8

Mário Parreiras de Faria / CIF 40009-8

Cristiano da Silva Rodrigues Garcia / CIF 35040-0

Mara Queiroga Camisassa de Assis / CIF 35320-5

Adriana Lúcia da Silva Jardim / CIF 35241-1