



Ministério da Economia
Secretaria Especial de Previdência e Trabalho
Secretaria do Trabalho / Subsecretaria de Inspeção do Trabalho
Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais
SEGUR - Seção de Segurança e Saúde do Trabalhador

Relatório de Análise de Acidente de Trabalho

Rompimento da barragem B I da Vale S.A. em
Brumadinho/MG em 25/01/2019

Setembro de 2019

Sumário

Parte I: Introdução	6
1. O acidente	6
2. Objeto	8
3. Equipe de Auditoria	8
4. Fontes de Informações	8
5. Número de acidentados	10
6. A Empresa	11
6.1. Informações gerais	11
6.2. Empresas terceirizadas que usam empregados acidentados	13
Parte II:	
Análise das condições estruturais da Barragem I	14
Capítulo 1: A estrutura da Barragem I	14
1.1. Barragens de rejeitos	14
1.1.1. Definição	14
1.1.2. Alçamento	14
1.1.2.1. Alçamento a montante	14
1.1.2.2. Alçamento a jusante	16
1.1.2.3. Alçamento por linha de centro	16
1.2. A Barragem de Rejeitos B I	17
1.2.1. Informações iniciais	17
1.2.2. Responsabilidade técnica	17
1.2.3. Classificação	18
1.2.3.1. Classificação de barragens conforme Portaria DNPM Nº 70.389 de 17 de maio de 2017	18
1.2.3.2. Classificação da Barragem B I conforme Portaria DNPM Nº 70.389, de 17 de Maio de 2017	19
1.3. Geologia local	21
1.4. O Projeto inicial da Barragem I e seus alçamentos	29
Capítulo 2: A Drenagem da Barragem I	35
2.1. Considerações preliminares	35
2.1.1. Linha freática no dique inicial	35
2.1.2. Rebaixamento da linha freática	37
2.1.2.1. Rebaixamento do nível piezométrico com poços	39
2.1.2.2. Execução de berma de estabilização com utilização de enrocamento ou estéril	40
2.1.2.3. Lavra da barragem	42
2.1.2.4. Retaludamento da barragem	43
2.1.2.5. Retaludamento da barragem associado a uma berma de estabilização	44
2.1.2.6. Associação de um rebaixamento do nível de água na barragem através de DHP (Drenos Horizontais Profundos) e Lavra da Barragem.	45
2.1.2.6.1. A instalação dos DHP e o fraturamento hidráulico.	47

2.2. Drenagem interna	56
2.3. Saída de água a jusante	61
2.4. Drenagem superficial	63
2.5. Desvio de água a montante do reservatório	66
2.6. Sistema extravasor	69
Capítulo 3: O fator de segurança da estabilidade da Barragem I	71
3.1. Considerações iniciais	71
3.2. Análise dos relatórios de inspeção de segurança regular da B I	73
3.2.1. Documento Pimenta de Ávila - RD-639-RL-40142-01	73
3.2.2. Documento Geoconsultoria VL55-RT05	74
3.2.2.1. Fator de Segurança para a condição drenada	75
3.2.2.2. Fator de Segurança para condição não drenada	76
3.2.3. Documento Vale.AT-LT-PFE-107-01.17	78
3.2.3.1. FS para condição drenada	78
3.2.3.2. FS para condição não drenada	79
3.2.4. Documento Vale.AT-LT-PFE-107-01.18	80
Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho:	80
3.2.5. Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18	81
3.2.5.1. FS para condição drenada	81
3.2.5.2. FS para condição não drenada	83
3.2.6. Resumo dos Fatores de Segurança nos documentos	87
Capítulo 4: Operação, monitoramento e manutenção da Barragem I	90
4.1. Praia de rejeitos	90
4.2 Auscultação na B I	96
4.2.1. Conceitos	96
4.2.2. Carta de riscos	97
4.2.2.1 Histórico da auscultação da Barragem B I	99
4.2.2.2. Níveis de segurança piezométricos da Carta de Risco	100
4.2.3. Frequência de leitura dos instrumentos	102
4.2.4. Parâmetros de interpretação das leituras da instrumentação	103
4.2.5. Inconsistências nos relatórios de auscultação	104
4.2.6. Monitoramento por radar	107
4.3. Anomalias da Barragem I	109
4.3.1. Arbustos e vegetação no barramento:	113
4.3.2. Surgências e umidade no barramento	116
4.3.3. Problemas na drenagem superficial e interna	119
4.3.4. Pontos de erosão, ravinas e deformações no maciço	125
4.3.5. Presença de animais no barramento	129
4.3.6. Problemas com bombeamento de água do lago	132
Parte III:	
Análise dos possíveis fatores causais do rompimento da Barragem I	134
Capítulo 1: Liquefação da Barragem I	134
1.1. Introdução	134
1.2. Liquefação	135

1.3. Estudos elaborados sobre liquefação em ordem cronológica e por empresas consultoras	136
1.3.1. Documento Pimenta de Ávila RD-654-RL-41070-00	136
1.3.1.1. Análise de estabilidade probabilística FOSM	140
1.3.1.2. Análise de estabilidade probabilística Monte Carlo	141
1.3.2. Documento Geoconsultoria VL47-RT-04	145
1.3.3 Documento Geoconsultoria VL47MC01-R0	150
1.3.4 Documento Geoconsultoria VL47-RT-04	153
1.3.5 Documento Geoconsultoria VL55-RT-31	155
1.3.6 Documento Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0019 e documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-057/17	156
1.3.7 Documento Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067	159
1.3.8. Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-117/17	166
Capítulo 2: Possíveis impactos para a Liquefação da Barragem I	170
2.1. Sismos e vibrações induzidas	170
2.1.1. Eventos sísmicos na região de Brumadinho	171
2.2. Remoção da camada de suporte posicionada no pé da estrutura	172
2.3. Instabilização local	172
2.4. Perfurações e sondagens a úmido no barramento	174
2.5. Movimento rápido da fundação	178
2.6. Elevação rápida da superfície freática	178
2.6.1. Pluviometria da região da Barragem I	179
2.7. Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho	181
Capítulo 3: O Documento Cálculo do Risco Monetário	182
3.1. Cálculo do Risco Monetário para Barragens e Diques – Barragem I	182
3.1.1. Etapa 1 - Consolidação de Dados e Premissas	183
3.1.2. Etapa 2 – Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem	189
3.1.3. Etapa 3 – Estudo de Ruptura Hipotética – Dam Break	194
3.1.4. Etapa 4 – Valoração das Consequências	196
3.1.5. Etapa 5 – Análise de Risco	198
3.1.6. Notas Técnicas	200
Parte IV:	
Fatores organizacionais relacionados à Barragem I	201
Capítulo 1: Programas de Gestão de Segurança	201
1.1. Introdução	201
1.2. PGR – Programa de Gerenciamento de Riscos	201
1.3. CIPAMIN - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração	204
1.4. Mecanismos de controle externo	205
1.4.1. SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente	205
1.4.2. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral	205
1.4.3. PIESEM - Painel Independente de Especialistas para Segurança e Gestão de Riscos de Estruturas Geotécnicas	206
Capítulo 2: Planos de Emergência	209
2.1. Plano de Emergência	209
2.2. PAEBM - Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração	212

2.2.1. Base Legal do PAEBM	212
2.2.2. O PAEBM da B I	212
2.2.3. Detecção, avaliação e classificação das situações de emergência (níveis 1, 2 e 3)	213
2.2.4. Ações esperadas para cada nível de emergência	216
2.2.5. Descrição dos procedimentos preventivos e corretivos	216
2.2.6. Procedimentos de notificação e sistema de alerta	218
2.2.7. Responsabilidades durante a emergência	220
Considerações da Auditoria Fiscal do Trabalho	220
2.2.8. Síntese do estudo de inundação	221
2.3. Capacitação do PAEBM	223
2.3.1. Treinamento externo	223
2.3.2. Treinamento interno	226
Capítulo 3: Risco Grave e Iminente	227
Parte V:	
Conclusão	230
Auscultação deficiente	230
Distorções no cálculo dos Fatores de Segurança	231
Geologia local desconhecida	232
Operação irregular	232
Sistema de drenagem insuficiente e mal conservado	232
Demora no deplecionamento efetivo da linha freática	233
Existência de anomalias recorrentes	233
Falhas em planos de emergência	233
Gestão de segurança e saúde no trabalho precária	234
Considerações finais	234
ANEXOS	237
Anexo 1 - Glossário	239
Anexo 2 - Relação de mortos e desaparecidos	244
Anexo 3 - Empregadores na Mina Córrego do Feijão com trabalhadores acidentados	254
Anexo 4 - Relação de Autos de Infração lavrados	256
Anexo 5 - Cópias dos Autos de Infração	259

Lista de siglas e símbolos

ANM	Agência Nacional de Mineração
c'	Coesão efetiva de um solo
CECOM	Centro de Controle de Emergências e Comunicação
CIPAMIN	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes do trabalho na Mineração
CPTu	Piezocone Penetration Test
DCE	Declaração de Condição de Estabilidade
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DHP	Dreno Horizontal Profundo
DPA	Dano Potencial Associado
El.	Elevação em relação ao nível do mar
FIR	Ficha de Inspeção Regular
FS	Fator de Segurança
GRG	Gestão de Riscos Geotécnicos
INA	Indicador de Nível de Água
NA	Nível de Água
NBR	Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas
NR	Norma Regulamentadora de segurança e saúde do trabalho
PAE	Plano de Atendimento a Emergências
PAEBM	Plano de Ação de Emergência para Barragem de Mineração
PGR	Programa de Gerenciamento de Riscos na mineração
PIESEM	Painel Independente de Especialistas para Segurança e Gestão de Riscos de Estruturas Geotécnicas
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PZ	Piezômetro
PZC	Piezômetro tipo Casagrande
PZE	Piezômetro Elétrico de corda vibrante
RAC	Requisitos de Atividades Críticas
RISR	Relatório Inspeção de Segurança Regular
RPS	Revisão Periódica de Segurança de barragem
SM	Sondagem Mista
SPT	Standard Penetration Test
SRT/MG	Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais
S_u	Resistência não drenada de um solo
S_u/σ'_v	Razão de resistência não drenada
ZAS	Zona de Autossalvamento
γ	Peso específico de um solo
ϕ'	Ângulo de atrito efetivo de um solo

Parte I: Introdução

1. O acidente

No dia 25 de janeiro de 2019, às 12:28, ocorreu o rompimento da barragem B I de contenção de rejeitos de minério de ferro, da Mina de Córrego do Feijão, de propriedade da empresa Vale S.A., localizada no município de Brumadinho, a sessenta quilômetros de Belo Horizonte, M.G. O rompimento resultou no maior acidente de trabalho do Brasil por causar, além de dezenas de feridos, a morte de centenas de trabalhadores da empresa e de suas terceirizadas, além da população externa que se encontrava na área do alagamento ocasionado pelos rejeitos, sem contar os impactos ambientais e sociais, que somados o tornaram um desastre de escala mundial

O rompimento formou ondas de rejeitos que avançaram sobre trabalhadores, veículos, equipamentos, instalações de tratamento e carregamento de minério e locais de trabalho diversos. Calcula-se que a velocidade da lama alcançou cerca de 80 quilômetros por hora.

A B I possuía, entre barramento e rejeitos armazenados, aproximadamente 11.600.000 m³. Grande parte desta massa de material desceu pelo vale do Ribeirão Ferro-Carvão e no seu caminho encontrou as barragens de contenção de sedimentos B IV e B IV-A, que também se romperam.

A figura 1 mostra visão da B I após o rompimento, podendo ainda ser vista parte da ombreira direita da barragem.

Figura 1: Visão da barragem B I após o rompimento, a partir da crista da barragem B VI



Fonte: Auditoria Fiscal do Trabalho, 28/01/2019

Conforme evidenciado em diversos documentos apresentados pela empresa Vale S.A., havia a jusante da B I estruturas como terminal ferroviário de carga e instalações de tratamento de minérios, e, acerca de um quilômetro, um centro de a vidades administra vas (escritórios, refeitório, ves ários, almoxarifado etc).

A figura 2 mostra o caminho do rejeito de minério a jusante da B I ao longo do vale do Ribeirão Ferro-Carvão.

Figura 2: Visão do caminho do rejeito após o rompimento da B I, a par r da crista da B VI



Fonte: Auditoria Fiscal do Trabalho, 28/01/2019

Do rompimento resultaram 249 mortes confirmadas e 21 pessoas desaparecidas (dados de 5 de setembro). Em seu caminho o rejeito destruiu uma parte do distrito de Córrego do Feijão (matando seis moradores), uma pousada (matando nove de seus trabalhadores, incluindo os proprietários, e cinco hóspedes), um viaduto de linha férrea e várias propriedades rurais. A pluma de rejeitos chegou ao Rio Paraopeba e impactou o fornecimento de água para comunidades indígena e quilombola e também para várias cidades, dentre as quais Brumadinho, Pará de Minas e Belo Horizonte. Também foram a ngidas várias propriedades rurais nas margens do Córrego do Feijão e do Rio Paraopeba. As alterações na turbidez e nos níveis de metais na água ainda se fazem presentes e têm sido mo vo de preocupação e vigilância constante das autoridades, assim como a saúde dos militares do Corpo de Bombeiros que atuaram e con nuam atuando no resgate dos corpos, até a data de elaboração deste relatório.

A economia da região foi duramente afetada em função da perda da produção das propriedades rurais e interrupção da pesca. No município de Brumadinho as a vidades de comércio, turismo e pesca foram seriamente afetadas.

Os impactos sócio-econômico-ambientais para toda região do vale do Rio Paraopeba ainda estão sendo mensurados. Por sua vez, as a vidades de mineração em Minas Gerais

foram duramente atingidas com várias minas tendo suas atividades paralisadas com grande impacto em toda a cadeia produtiva.

Estamos diante de um acidente de trabalho ampliado (FREITAS, PORTO e MACHADO, 2000)¹ uma vez que este, embora tenha se originado no interior de uma empresa, acabou por atingir trabalhadores de dezenas de outras, além de extrapolar os limites físicos da empresa, causando mortes e lesões também nos habitantes de seu entorno, além de danos materiais incalculáveis com ampliação no espaço e no tempo de suas consequências sobre a vida humana, a saúde física e mental das populações afetadas e o meio ambiente.

2. Objetivo

Este relatório tem por objetivo analisar os fatores causais que levaram ao rompimento da Barragem B I da Mina Córrego do Feijão numa perspectiva da múltipla causalidade dos acidentes de trabalho desta natureza e contribuir com os demais órgãos públicos envolvidos na apuração do caso.

3. Equipe de Auditoria

A equipe de auditoria responsável pela elaboração deste relatório é composta pelos seguintes Auditores-Fiscais do Trabalho, em ordem alfabética:

Carolina Tobias Retes Mayr	CIF 35925-4
Crisiano da Silva Rodrigues Garcia	CIF 35040-0
Daniel Dias Rabelo	CIF 35254-3
Leandro Magno Gomes de Oliveira	CIF 35628-0
Leonardo Malard Marchese	CIF 30479-4
Mara Queiroga Camisassa de Assis	CIF 35320-5
Marcos Ribeiro Botelho	CIF 35050-8
Mário Parreiras de Faria	CIF 40009-8

4. Fontes de Informações

Foram realizadas seis inspeções no local do rompimento da B I, nos dias 25 (dia do acidente), 28 e 29 de janeiro, 1º de fevereiro, 15 de março e 26 de agosto de 2019, com tomada de fotografias e de entrevistas com diversos técnicos da empresa Vale S.A. e de

¹ Freitas, C. M., Porto, M. F. S., Machado, J. H. M. (orgs.) Acidentes industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e prevenção. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. 316p., tab., graf.

prestadores de serviço que atuaram no passado e que atuavam na Mina de Córrego do Feijão à época do rompimento e que são citados ao longo deste relatório.

Foram emi das diversas no ficações para apresentação de documentos da Vale e de dezenas de suas terceirizadas.

As entrevistas foram realizadas na sede da Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais e em escritórios de empresas prestadoras de serviço. Também foram realizadas reuniões conjuntas com o Ministério Público do Trabalho, Ministério Público Estadual, Ministério Público Federal, Defesa Civil, Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Minas Gerais e Agência Nacional de Mineração.

Foi examinado volumoso acervo documental fornecido pela Vale e prestadores de serviço tais como projetos, relatórios de inspeção periódicos e dados técnicos da barragem. Também foram analisados documentos compar lhados, com autorização judicial, pelo Ministério Público Estadual, Ministério Público Federal, Polícia Federal e Polícia Civil do Estado de Minas Gerais, além do processo instaurado pelo Ministério Público do Trabalho.

Auditores-Fiscais do Trabalho da equipe par ciparam de audiências na Assembleia Legislativa de Minas Gerais, no âmbito da Comissão Parlamentar de Inves gação do acidente, quando da oi va de testemunhas. Pesquisou-se ainda literatura técnica disponível sobre o tema.

U lizou-se como marco de análise a teoria de acidente organizacional trazida por vários autores, entre os quais Llory (1999)² e Llory e Montmayel (2014)³.

Entre os vários profissionais entrevistados e que prestaram informações à Auditoria Fiscal do Trabalho elencamos os seguintes:

1) Da empresa Vale S.A.

Foram entrevistados empregados dos Setores de Engenharia de Segurança do Trabalho, Geotecnia Operacional e Desmonte de Rochas.

2) Das empresas prestadoras de serviço

- a) Denis Rafael Valen m (responsável pela Tecnologia de Informação) da empresa TÜV-SÜD Bureau de Projetos e Consultoria.
- b) Makoto Namba: da empresa TÜV-SÜD do Brasil Bureau de Projetos e Consultoria: Responsável pelas análises de dados geotécnicos de diversas barragens pertencentes à Vale S.A., entre as quais a B I, e responsável técnico pela úl ma Declaração de Condição de Estabilidade (DCE) da B I emi da em

² Llory, M. Acidentes Industriais: O custo do silêncio. Operadores privados da palavra e execu vos que não podem ser encontrados/Michel Llory; Prefácio Gérard Mendel; Tradução Alda Porto. Rio de Janeiro: Mul Mais Editorial, 1999. 320 p.

³ Llory, M.; Montmayeul, R. O acidente e a organização. Tradução de Marlene Machado Zica Vianna. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2014. 192 p.

setembro de 2018 em conjunto com Engenheiro César Grandchamp, Gerente de Geotecnia da Vale S.A.

- c) Luiz Gustavo e Pedro Carvalho de Thá (Geólogos), Lilian Maia e Laís Antonelli (Geóloga) da empresa Fugro In Situ Geotecnia Ltda.
- d) Paulo Abrão, Sócio da empresa Geoconsultoria.
- e) Ana Lúcia Moreira Yoda, Engenheira Civil e Especialista em Geotécnica, e Felipe Allan Brandão, Gestor de Saúde e Segurança da empresa Tractebel.
- f) Mário Alfaia, Diretor Executivo da empresa Geocontrole.
- g) Joaquim Pimenta de Ávila, Engenheiro, Especialista em barragens e sócio da empresa Pimenta de Ávila Consultoria.
- h) Paula Baillot Lacerda, Diretora, Marcelo Santos, Engenheiro Civil, e Marcionete Rodrigues, Encarregado de perfuração da empresa AlphaGeos Tecnologia Aplicada.
- i) Antônio França Filho, trabalhador da empresa Reframax Engenharia Ltda.
- j) Riad Chammas e Samir Chammas, Diretores da empresa Chammas Engenharia.
- k) Rodrigo de Almeida Leite Barbosa, Engenheiro Civil, da empresa Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda.

5. Número de acidentados

Total de acidentados mortos: 270

- Trabalhadores mortos⁴ : 258
 - estagiários Vale: 3
 - empregados Vale: 127
 - empregados de terceiros na mina: 118
 - outros trabalhadores fora da mina: 10
- Mortos entre as pessoas da comunidade, turistas e outros: 12

Total de acidentados⁵ sobreviventes: 64

- Empregados Vale: 22
- Empregados de terceiros: 42

Total de acidentados⁶: 334

O Anexo 2 apresenta os nomes dos mortos (óbitos confirmados e presumivelmente mortos) e seus empregadores.

⁴ Somatório de óbitos confirmados pelo IML e de pessoas desaparecidas.

⁵ Para os quais houve apresentação da CAT (Comunicação de Acidente de Trabalho).

⁶ Somatório dos óbitos, desaparecidos e de trabalhadores da Mina lesionados para os quais houve a emissão da CAT.

Embora o foco deste relatório seja a investigação do acidente de trabalho, estão também listados os moradores da região e outros trabalhadores (em atividade no momento do acidente) que foram vítimas, mas que não trabalhavam dentro dos limites da Mina do Córrego do Feijão, ou seja, sem vínculo com a Vale ou com suas subcontratadas. São eles: seis moradores da região, nove trabalhadores da Pousada Nova Estância, um profissional liberal (fonoaudiólogo), um candidato a emprego na Vale e cinco hóspedes daquela pousada.

6. A Empresa

6.1. Informações gerais

A Mina Córrego do Feijão, de propriedade da empresa Vale, faz parte do denominado Complexo Paraopeba, no município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais. Pode ser acessada pela rodovia BR-040 partindo de Belo Horizonte, em sentido do Rio de Janeiro por cerca de 13km, até o Bairro Jardim Canadá, em Nova Lima. Deste ponto, segue-se por mais 28 km pela Estrada Municipal na Serra do Rola Moça até a portaria. A B I, cujas coordenadas UTM são 591.955 E / 7.775.080 N, era uma das várias barragens desta mina. A Vale adquiriu os direitos minerários e o controle acionário da Mina Córrego do Feijão da Ferteco Mineração S.A. em 27/04/2001⁷. A figura 3 apresenta uma vista aérea da B I em 2017.

Figura 3: Vista aérea da B I, à esquerda vê-se a barragem B VI



Fonte: "REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO" (Documento TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17, Revisão 4, de 24/08/2018. p. 10)

A figura 4 apresenta o mapa de localização da B I dentro do município de Brumadinho/MG.

⁷ Conforme "REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO" (Documento TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17, Revisão 4, de 24/08/2018. p.4)

O quadro 1 apresenta a identificação do empreendimento no qual estava inserida a barragem.

Empreendedor	Vale S.A.
CNPJ	33.592.510/0035-01
Endereço – Sede Administra va	Faz Córrego do Feijão, S/N - Etc Alberto Flores - Brumadinho/MG - CEP: 35460-000
Telefone – Sede Administra va	(31) 3571 5411
Diretoria	Diretoria Execu va Ferrosos Carvão
Departamento	Operações Ferrosos Corredor Sudeste
Complexo	Paraopeba
Mina	Córrego do Feijão
Município	Brumadinho
Estado	Minas Gerais
Tipo de Minério	Ferro

12

6.2. Empresas terceirizadas que veram empregados acidentados

O Anexo 3 relaciona os empregadores na Mina do Córrego do Feijão e na Mina de Jangada que veram empregados acidentados e o respectivo número destes. Esta segunda mina, vizinha a primeira, tinha a maioria de suas áreas de vivências e de controle administrativo localizadas na Mina do Córrego do Feijão. Muitos dos trabalhadores da Mina de Jangada estavam no refeitório na Mina do Córrego do Feijão no momento do acidente.

Além dos terceirizados e seus subcontratados, cabe salientar que o empregador Pousada Mascarenhas & Filhos EIRELI (Pousada Nova Estância), CNPJ 10.759.357/0001-01, teve seu estabelecimento atingido pelos rejeitos e seis empregados vitimados fatalmente, além de três proprietários, conforme Anexo 2.

Parte II:

Análise das condições estruturais da Barragem I

Capítulo 1: A estrutura da Barragem I

1.1. Barragens de rejeitos

1.1.1. 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.

1.1.2. Alteamento

Alteamento é um método construtivo de barragem de contenção de rejeitos. Existem três principais tipos de alteamento: a montante, a jusante e por linha de centro, que eventualmente podem ser combinados (quando mais de um método é utilizado). Estas denominações referem-se ao deslocamento que o eixo da barragem apresentará durante as etapas de alteamento.

1.1.2.1. 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.

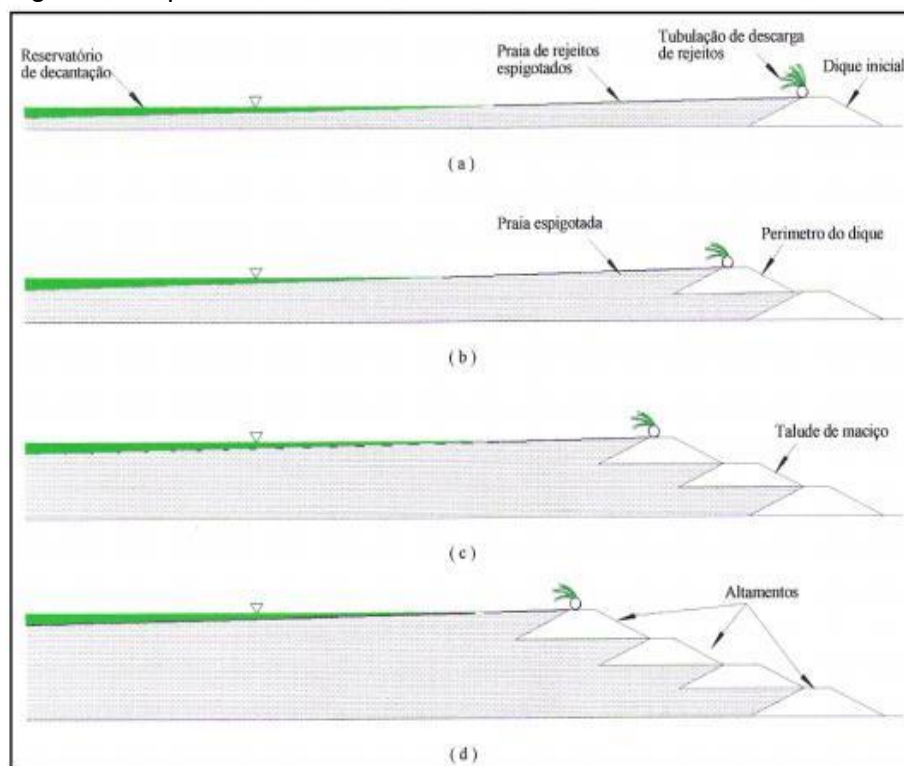
A construção dos alteamentos deve observar, dentre outros fatores, a sedimentação dos rejeitos sobre os quais serão construídos, para redução dos riscos de acidentes. Entretanto, o aumento da produção de minério e consequentemente maior geração de rejeitos levam à necessidade de construção de novos alteamentos, 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)⁸.

O método de alteamento a montante (figura 5) é o mais vulnerável à ocorrência de acidentes devido às forças da percolação da água, com maior suscetibilidade 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, contudo 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.

Hoje no Brasil existem 61 barragens a montante, sendo que 41 delas estão em Minas Gerais.⁹

Figura 5: Esquema do método de alteamento a montante



Fonte: Vick, 1983, modificado, apud Soares (2015)¹⁰

⁸ Castro, L. V. P. Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alteada a montante. Dissertação "Mestrado em Engenharia de Minas". Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008

⁹ <http://www.anm.gov.br/normas/anm-publica-nova-norma-para-barragens-de-mineracao>

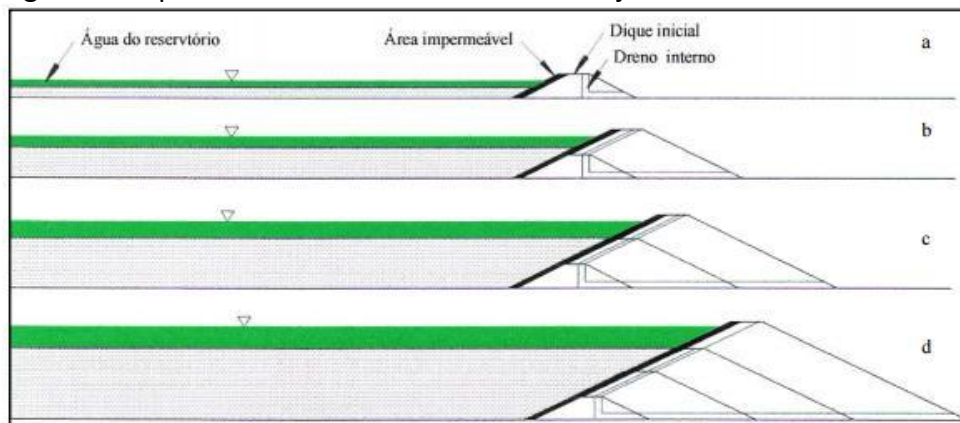
¹⁰ Soares, L. Barragem de Rejeitos, CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Processos Minerais. Comunicação Técnica elaborada para o livro Tratamento de minérios, Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cris na A. França. Rio de Janeiro, Agosto/2015. 5ª Ed. Cap. 19. pág. 831-896

1.1.2.2. Alteamento a jusante

Neste método, os rejeitos são lançados a jusante do dique de par da, a par r 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 (figura 6) 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*.

Figura 6: Esquema do método de alteamento a jusante

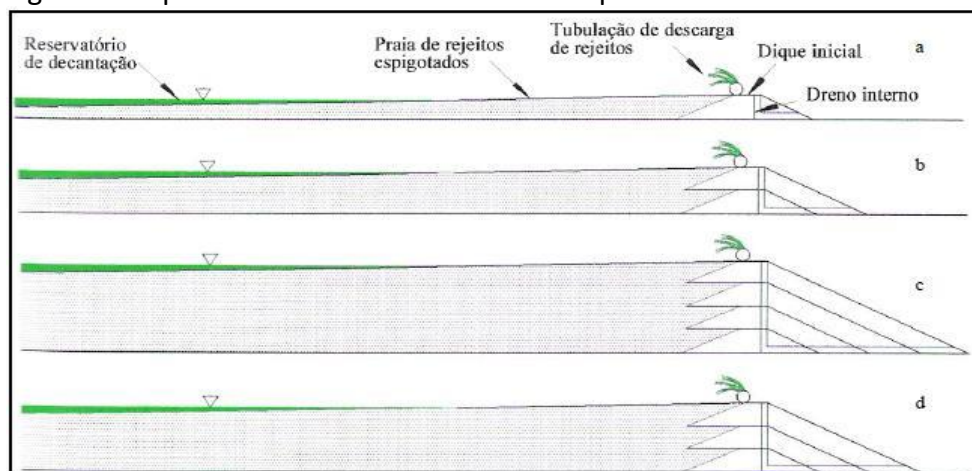


Fonte: Vick, 1983, modificado, apud Soares (op. cit.)

1.1.2.3. 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 par da, de forma que os eixos da crista do dique inicial e dos diques dos alteamentos sucessivos mantêm-se na mesma posição, conforme figura 7. O comportamento estrutural da barragem construída por este método se aproxima daquele por método a jusante.

Figura 7: Esquema do método de alteamento por linha de centro



Fonte: Vick, 1983, modificado, apud Soares (op. cit.)

1.2. A Barragem de Rejeitos B I

1.2.1. Informações iniciais

Conforme o documento “Revisão Periódica De Segurança De Barragem Mina Córrego Feijão – Barragem I Relatório Técnico” de 24/08/2018¹¹ (RPS 2018 da B I), a B I nha como finalidade principal a contenção de rejeitos gerados no processo de beneficiamento da Instalação de Tratamento de Minério da Mina Córrego do Feijão - ITM - CFJ, lançados por meio de “*spray-bars*” posicionados ao longo da crista da estrutura. Todavia, seu reservatório também servia para clarificação da água a ser extravasada para a Barragem VI. Em julho de 2016 as operações de beneficiamento do minério na instalação de tratamento de minério ITM-CFJ passaram a ser realizadas de forma a seco e a barragem não recebeu mais rejeitos.

O maciço do dique inicial foi executado em 1976 (ainda quando a Mina do Córrego do Feijão pertencia à Ferteco Mineração S.A.), em minério homogêneo drenante (minério ultrafino), revestido por uma camada de laterita de 4,0 m de espessura no talude de montante e de 1,0 m de espessura no talude de jusante. A inclinação dos taludes de montante e jusante era de 1V: 1,5H e 1V: 1,75H, respectivamente. Existia no talude de jusante do dique inicial uma berma na elevação (El.) 864,0 m com 5,0 m de largura. Esta etapa inicial teve coroamento da crista na El. 874,00 m e altura do barramento de 18,00 m.

1.2.2. Responsabilidade técnica

O quadro 2 apresenta as informações sobre a estrutura organizacional da B I.

Quadro 2: Estrutura Organizacional da B I da Mina Córrego do Feijão da Vale S.A.

Gerência				
Responsabilidade / Função	Nome	Cargo	Responsabilidades	CREA
Responsável / Representante Legal	Rodrigo Artur Gomes de Melo	-	Gerente Executivo do Complexo Paraopeba	58.773/D
Responsável Técnico pela Gestão (ART)	Rodrigo Artur Gomes de Melo	-	Gerente Executivo do Complexo Paraopeba	58.773/D
Gerente de Geotecnia	César Grandchamp	Especialista Técnico	Representante Legal	39.238/D
Operação, manutenção, monitoramento e inspeção				
Responsabilidade / Função	Nome	Cargo	Responsabilidades	CREA
Responsável Técnico pela Manutenção (ART)	Lúcio Medanha	-	Operação e Manutenção das Barragens - CFJ	105.286/D
Responsável Técnico pelo Monitoramento e Inspeção (ART)	Cris na Heloísa da Silva Malheiros	Profissional Geotécnico	Responsável por Inspeção e Monitoramento	107.237/D

Fonte: “REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO (Documento Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17, Revisão 4, de 24/08/2018, p. 5)

¹¹REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO - Documento Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17, Revisão 4, de 24/08/2018

1.2.3. Classificação

1.2.3.1. Classificação de barragens conforme Portaria DNPM Nº 70.389 de 17 de maio de 2017

A Lei Federal Nº 12.334/2010 estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens - SNISB.

Segundo o parágrafo único do art. 1º desta lei, é considerada barragem qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos. A lei, entretanto, não é aplicada para todos os pos de barramento, mas somente para aqueles que apresentarem pelo menos uma das seguintes características:

- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m (quinze metros);
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- Categoria de Dano Potencial Associado – DPA, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Deste modo, as barragens deverão ser classificadas, por categoria de risco e dano potencial associado. Os critérios para esta classificação constam na Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017¹².

Segundo a citada Portaria, a Categoria do Risco é obtida por meio do somatório de valores atribuídos a parâmetros específicos constantes em uma Matriz de Classificação. Quanto à Categoria do Risco, esta matriz abrange os seguintes aspectos:

- Características técnicas da barragem;
- Estado de conservação;
- Plano de segurança da barragem.

O somatório dos pontos associados a estes parâmetros identificará a Categoria do Risco em ALTO, MÉDIO ou BAIXO.

O DPA também é obtido por meio do somatório de valores atribuídos aos seguintes parâmetros:

- Volume total do reservatório;
- Existência de população a jusante;
- Impacto ambiental;

¹² A Portaria 70.389/2017 também criou o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabeleceu a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração.

- Impacto sócio-econômico.

O somatório dos pontos associados a estes parâmetros definirá o DPA como ALTO, MÉDIO ou BAIXO.

De posse destas informações, faz-se o cruzamento obtendo-se a Classificação da barragem em A, B ou C, conforme quadro 3.

Quadro 3: Classificação de categoria de risco e dano potencial associado de barragens

	Dano Potencial Associado		
Categoria de risco	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	B	C	D
Baixo	B	C	E

1.2.3.2. Classificação da Barragem B I conforme Portaria DNPM Nº 70.389, de 17 de Maio de 2017

As características da B I e os pesos imputados a cada um dos parâmetros de classificação estão detalhados no quadro 4 e estão conforme o Relatório De Inspeção De Segurança Regular Laudo Técnico De Segurança De Barragem (Documento TÜV SÜD BUREAU RC-SP-100/18) - RISR SET/2018 da B I.

Quadro 4 – Classificação conforme Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio de 2017

QUANTO À CATEGORIA DE RISCO		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (CT)		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Altura	7	86,00 m
Comprimento	3	720,00 m
Vazão de Projeto	0	Cheia máxima provável
Método Construção	10	Alteamento a montante
Auscultação	0	Existe instrumentação de acordo com projeto técnico
Somatório	20	
ESTADO DE CONSERVAÇÃO (Considerando-se a estrutura na data da inspeção: 20/07/2018)		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	0	Erosão identificada, necessita medida corretiva, mas não compromete a função extravasora
Percolação	0	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem
Deformações e Recalques	0	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura

Deterioração dos Taludes / Paramentos	2	Falha na proteção vegetal do talude de jusante, mas sem comprometimento à segurança da estrutura
Somatório	2	
PLANO DE SEGURANÇA		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Documentação de Projeto	2	Projeto executado ou “como construído”. Atualizado em elaboração.
Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem	0	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem
Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento	0	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e inspeção
Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador)	0	Possui PAE
Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança	0	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança
Somatório	2	

QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Volume Total do Reservatório	3	11.741.325,24m ³ *nota 13
Existência de População à Jusante	10	Existem moradias a jusante da barragem.
Impacto Ambiental	6	Área de Interesse ambiental relevante a jusante da barragem
Impacto Socioeconômico	5	Alta concentração de instalações residenciais na área afetada à jusante da barragem
Somatório	15¹⁴	

¹³ <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/Vale-atualiza-informacoes-sobre-o-rompimento-da-barragem-de-Brumadinho.aspx> - Conforme documento Tractebel Vale.AT-LT-PFE-107-01.17 Rev 0, mais fiel ao informado pela Vale em seu site eletrônico em comparação com o documento TÜV SÜD que afirma que o volume seria de 7.529.033m³

¹⁴ Embora esse somatório esteja errado, não afeta a classificação do DPA

Resumo da classificação – Barragem I	
Responsável Técnico pela Classificação	TÜV SÜD Bureau de Projetos
Data	20/07/2018
Características Técnicas (CT)	20
Estado de Conservação (EC)	2
Plano de Segurança de Barragens (PS)	2
Pontuação Total da Categoria de Risco (CRI)	15
Dano Potencial Associado (DPA)	22 ¹⁵
Categoria de Risco	Baixo
Dano Potencial Associado	Alto
Classe	B

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	B	C	E

1.3. Geologia local

Segundo a Revisão Periódica de Segurança (RPS) de 2018 da B I, elaborada por TÜV SÜD (pág. 14), na região da barragem o maciço rochoso é representado por gnaisses bandados, sendo que a área do barramento se encontra capeada por horizonte de material terroso, constituído de solos saprolitos / residual / coluvionar. Estes solos mostram boa capacidade de suporte e permeabilidade baixa.

Com relação às características de fundação do terreno natural, as informações são bastante exíguas. De maneira geral, trata-se de um material silto-argiloso com índice de penetração (NSPT) entre 5 e 11 golpes, recobrindo o horizonte de solo saprolítico mais resistente com número de golpes variando entre 15 e 40 golpes.

Já no "Estudo de Liquefação Estática da B I", elaborado pela empresa Geoconsultoria em 2016 (VL47MC01-R0), é informado que o solo da fundação possui os seguintes parâmetros geotécnicos: $\gamma=20 \text{ KN/m}^3$, $\phi = 30^\circ$ e $c=20 \text{ KPa}$ (tabela 1). Estes parâmetros são utilizados para o cálculo dos coeficientes de segurança de estabilidade da barragem.

¹⁵ Embora o valor correto do somatório seja 24, utilizar o valor de 22 não alteraria a classificação do DPA

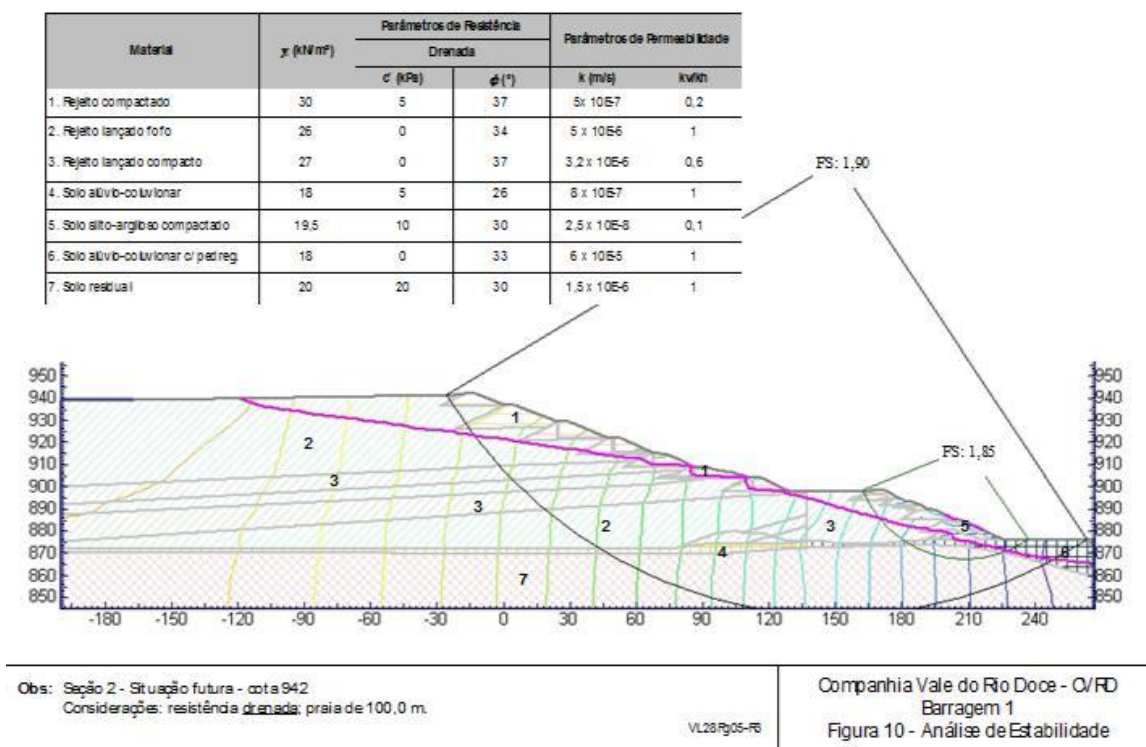
Tabela 1: Parâmetros geotécnicos utilizados para o cálculo do coeficiente de segurança na B I

Materiais	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kPa)	s_u/σ'_{vo}
Rejeitos compactados	30	37	0	-
Rejeitos fofos insaturados	26	34	0	-
Rejeitos fofos saturados 1	26	-	-	0,25
Rejeitos fofos saturados 2	26	-	-	0,50
Solo compactado	19,5	30	10	-
Solo de fundação	20	30	20	-

Fonte: Estudo de liquefação estática da B I (VL47MC01-R0), Geoconsultoria, 2016.

Em 16/11/2017, a empresa Potamos apresentou no PIESEM (Painel Independente de Especialistas para Segurança e Gerenciamento de Riscos de Estruturas Geotécnicas) uma revisão de estabilidade e liquefação¹⁶. Na página 31 deste Painel é apresentada uma análise de estabilidade de 2006, para condição drenada, elaborada pela Geoconsultoria, cuja superfície de ruptura passava pela fundação, conforme figura 8.

Figura 8: Análise de estabilidade da B I, seção 2, condição drenada, com superfície de ruptura passando pela fundação

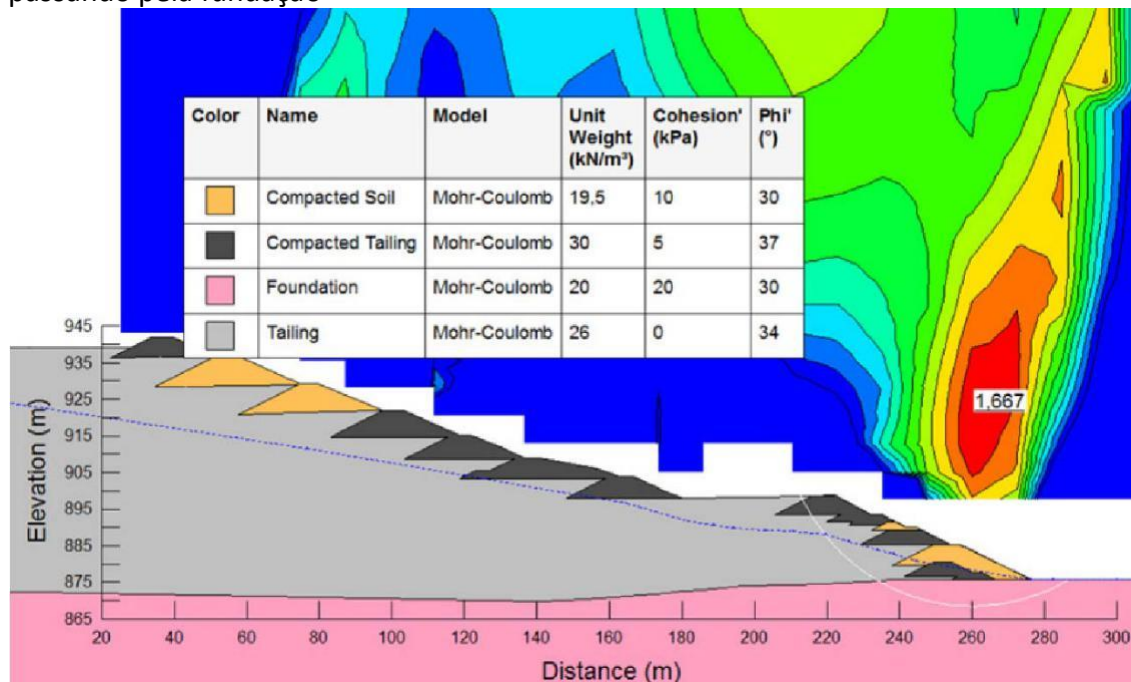


Fonte: Apresentação "Revisão de estabilidade e liquefação da B I", Potamos, PIESEM 2017, pág. 31

¹⁶Por meio de apresentação powerpoint no idioma inglês

O mesmo documento da Potamos (pág. 41), apresenta o cálculo de estabilidade da B I na seção 2, também com a superfície de ruptura passando pela fundação, conforme figura 9.

Figura 9: Análise de estabilidade da B I, seção 2, condição drenada, com superfície de ruptura passando pela fundação



Fonte: Apresentação "Revisão de estabilidade e liquefação da B I", Potamos, PIESEM 2017, pág. 41

Já no documento "Barragem I - Níveis de segurança para instrumentação - Cota 942", elaborado por Geoconsultoria em janeiro de 2018 (pág. 12), além do solo residual da fundação, também são citados um solo alúvio-coluvionar e um solo alúvio-coluvionar com pedregulhos, junto à fundação do dique inicial.

Tabela 2: Parâmetros geotécnicos utilizados para determinação dos níveis de segurança para instrumentação (El. 942) da B I

Material	γ_s (kN/m³)	Parâmetros de Resistência	
		Drenada	
		c' (kPa)	ϕ' (°)
Rejeito compactado	30	5	37
Rejeito lançado fofo	26	0	34
Rejeito lançado compacto	27	0	37
Solo alúvio-coluvionar	18	5	26
Solo silto-argiloso compactado	19,5	10	30
Solo alúvio-coluvionar c/ pedreg.	18	0	33
Solo residual	20	20	30

Fonte: "Barragem I - Níveis de segurança para instrumentação - Cota 942", elaborado por Geoconsultoria, 2018, pág. 12

Figura 10: Análise de estabilidade da B I, seção 3, condição drenada, com superfície de ruptura passando pela fundação, fator de segurança igual a 1,50

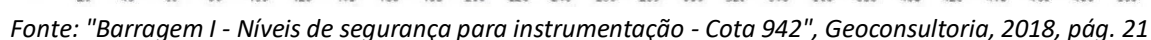


Figura 11: Seção 4-4 da B I apontando os vários tipos de solo que compõem os diques



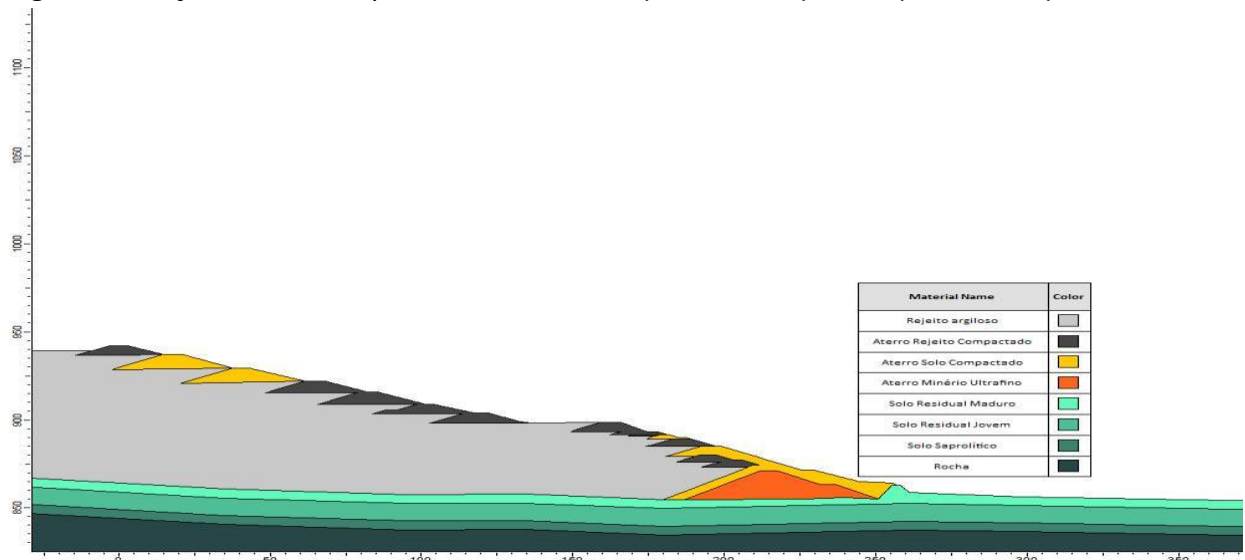
Tabela 3: Parâmetros geotécnicos utilizados na Revisão Periódica de Segurança da B I de 2018

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (graus)	s_u/σ'_{v0}	
				pico	residual
Rejeito	26	0	35	0,26	0,09
Aterro com minério ultrafino	25	0	30	---	---
Aterro em solo compactado	19	10	30	---	---
Aterro de rejeito compactado	28	0	37	---	---
Fundação em solo residual	20	16	30	---	---

Fonte: RPS de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 99

A fundação da B I e os parâmetros geotécnicos adotados apresentam novidades no documento elaborado por TÜV SÜD de 22/01/2019, denominado "Estudos de alternativa de descomissionamento da B I", Revisão B (RC-SP-145/18). Baseado em ensaios de campo realizados em 2018, define nova caracterização para os solos da fundação da barragem: solo residual maduro, solo residual jovem e solo saprolítico (figura 12 e figura 13).

Figura 12: Seção 4-4 da B I apontando os vários tipos de solo que compõem os diques



Fonte: Estudos de alternativa de descomissionamento da B I, TÜV SÜD, Janeiro de 2019, pág. 9

Figura 13: Parâmetros geotécnicos utilizados em janeiro de 2019 para a B I

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (graus)	s_u/σ'_{v0}	
				pico	residual
Aterro com minério ultrafino	25	0	30	---	---
Aterro em solo compactado	19	10	30	---	---
Aterro em rejeito compactado	26	0	35	0,26	0,09
Rejeito	26	0	35	0,26	0,09
Solo residual maduro	18	16	30	---	---
Solo residual jovem	20	10	32	---	---
Saprólito	22	5	35	---	---
Rocha	26	---	---	---	---

Fonte: Estudos de alternativa de descomissionamento da B I, TÜV SÜD, janeiro de 2019, pág. 18

O Relatório de Inspeção de Segurança Regular (RISR) de setembro de 2018 da B I, elaborado por TÜV SÜD, recomenda algumas medidas (pág. 73):

- i) Instalar monitoramento da movimentação dos blocos. ii) Controlar fluxo na região alagadiça a jusante da barragem, direcionando a água proveniente da drenagem superficial. iii) Verificar em seguida se a condição alagadiça se mantém, necessitando de drenagem subsuperficial (com drenos po espinha de peixe).
- Realizar investigações geotécnicas para subsidiar avaliação da estabilidade dos blocos localizados a jusante do pé da barragem. Avaliar o potencial de movimentação dos blocos (deslizamento e tombamento). Em sendo necessário, intervir para garantir sua contenção.

Em outubro de 2018, conforme relatório “Mapeamento eletroresistividade de bloco de canga de talus (VRD-21-GRE-01-GFS), foi realizado ensaio de eletroresistividade pela empresa Fugro junto aos grandes blocos de canga localizados a jusante do dique inicial. O bloco foi analisado através de 5 linhas, sendo que as linhas 1 e 4 foram as que melhor representaram o bloco de canga e a saturação sob o mesmo.

Quanto à linha 1, verifica-se (pág. 15 do relatório geotécnico da Fugro):

1 – Camada superficial compreendida por valores de alta resistividade. Pontualmente apresenta valores extremamente altos (áreas em vermelho). Sua espessura varia entre 4 e 6 metros de profundidade. Valores possivelmente associados ao talus, com resposta característica para blocos maciços de canga.

2 – Trecho sul da linha apresenta valores considerados baixos a extremamente baixos (em azul claro), com a presença de uma resistividade (em vermelho) com aproximadamente 30 metros de comprimento. Trecho extremamente saturado, com vertência de água nas suas proximidades em área a jusante do dique.

Em relação à linha 4, cita o relatório na pág. 18 (figura 14):

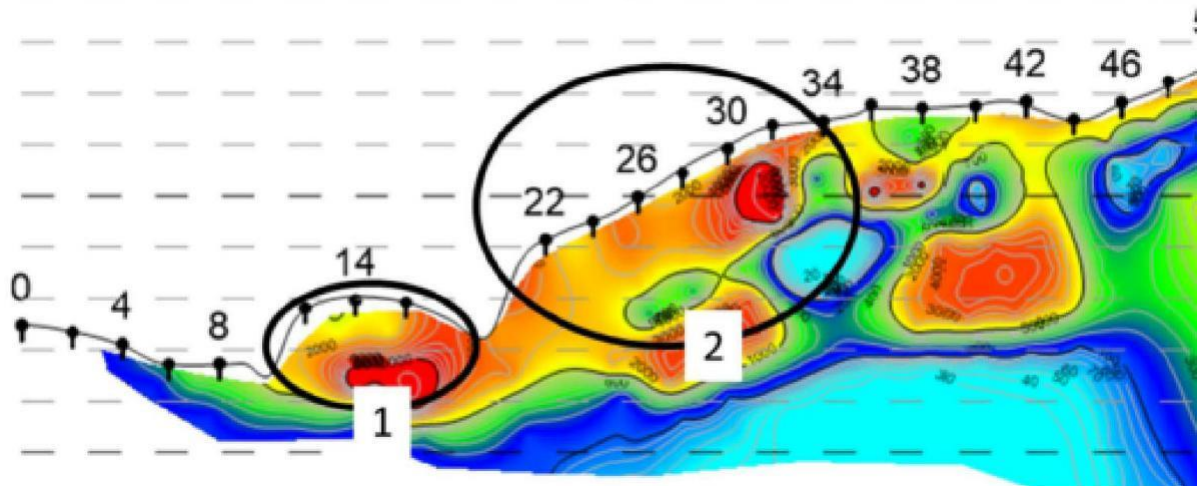
Esta linha cruza com dois blocos de canga iden ficados superficialmente e localizados nas posições 12 a 16 da linha (bloco menor) e 22 a 32 da linha.

É observado um padrão bem definido para ambos os blocos, com aumento dos valores de resis vidade. Para o bloco principal, observa-se uma variação dos valores de resis vidade, o que pode significar que ele não possui con nuidade ou que esteja fraturado com água percolando internamente.

Ainda em relação ao padrão de resis vidade apresentado pela canga, observa-se que tal padrão não ocorre novamente após a posição 44, de maneira que esta é uma possível indicação da descon nuidade do bloco em direção ao dique.

Figura 14: Detalhe do perfil da Linha 04 do ensaio de eletrorresis vidade realizado no pé da B I.

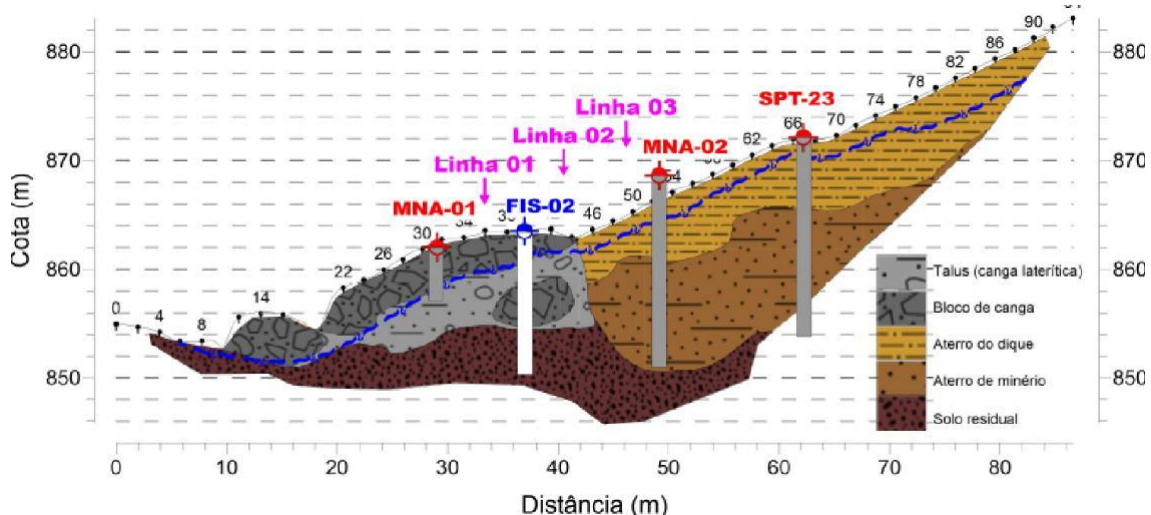
Obs.: (1) Bloco menor a jusante e (2) bloco principal em estudo



Fonte: Mapeamento eletrorresisØvo de bloco de canga de talus (VRD-21-GRE-01-GFS), Fugro, 2018

Por fim, ilustra-se mais uma vez a linha 4 através do perfil inferido (figura 15), pág. 24:

Figura 15: Perfil inferido da linha 4, com mapeamento dos blocos de canga



Fonte: Mapeamento eletrorresisØvo de bloco de canga de talus (VRD-21-GRE-01-GFS), Fugro, 2018

O relatório geotécnico da Fugro recomenda a realização de 5 furos de sondagem a fim de confirmar os achados do ensaio de eletrorresistividade.

A TÜV SÜD elaborou para a Vale um estudo de estabilidade do grande bloco de canga em dezembro de 2018 (RC-SP-148/18). Segundo o relatório (pág. 5), o bloco possuía as seguintes dimensões: comprimento de 8m, largura de 6 metros e altura de 3 metros (figura 16).

Figura 16: Vista do grande bloco de canga junto ao pé da B I



Fonte: Estudo de estabilidade do grande bloco de rocha (RC-SP-148/18)
TÜV SÜD, em dezembro de 2018

A Vale então contratou a empresa Geocontrole para a realização, dentre outros serviços, de 6 furos de sondagem mista (SM 01 a SM 06) na região dos blocos de canga para confirmar os achados do ensaio de eletrorresistividade elaborado pela Fugro.

A empresa Geocontrole iniciou os trabalhos de sondagem em 12/12/2018 e os desenvolveu até 25/01/2019, dia do rompimento da B I. Apesar de não terem sido concluídos todos os furos SM 01 a SM 06, de todas as amostras de solo e rocha colhidas em campo terem sido levadas pela "lama" da B I quando do seu rompimento, e da não análise técnica destas amostras por profissional legalmente habilitado, foi possível verificar nos relatórios de campo a presença de canga nos primeiros metros da cada furo.

Nos furos SM 01 e SM 02, foi localizada uma camada de canga intransponível quando da realização do SPT, podendo-se inferir a presença de blocos de canga nos primeiros metros de sondagem.

Pode-se concluir que, apesar de realizados ensaios geotécnicos de campo em 2005, 2016 e 2018, a Vale, depois de mais de 17 anos da aquisição da Mina do Córrego do Feijão junto à Ferteco Mineração, ainda não conhecia por completo a fundação na qual se apoiava o dique inicial da B I. Bem junto ao pé do dique inicial, existe uma camada de 4 a 6 metros de talus (canga laterizada), isto é, um solo transportado que não era considerado nos cálculos do

fator de segurança para estabilidade da barragem. Logo, os fatores de segurança de estabilidade da B I, até então apresentados nos vários relatórios contratados junto às empresas de auditoria, poderiam sofrer alterações caso essa camada fosse levada em consideração nos cálculos, podendo, assim, não demonstrar a real estabilidade sica do barramento.

1.4. O Projeto inicial da Barragem I e seus alteamentos

O dique inicial da B I foi projetado em 1975 pelo Engenheiro alemão Christoph Erb. Foram disponibilizadas à Auditoria Fiscal do Trabalho a especificação técnica e a memória de cálculo da barragem no idioma alemão. Não foram disponibilizadas pranchas do projeto do dique inicial, isto é, desenhos do projeto. Diante de tal situação, fica prejudicada sua análise.

A obra do dique inicial foi realizada pela empresa Emtel em 1976. Foi entregue à Fiscalização do Trabalho o relatório de acompanhamento desta obra elaborado pela empresa Tecnosolo. Neste relatório não se faz referência à drenagem no dique inicial. São apenas feitas citações quantos aos materiais de emprésmo utilizados e à compactação das várias camadas de solo que constituíram o dique inicial. O relatório não apresentou nenhuma imagem da obra.

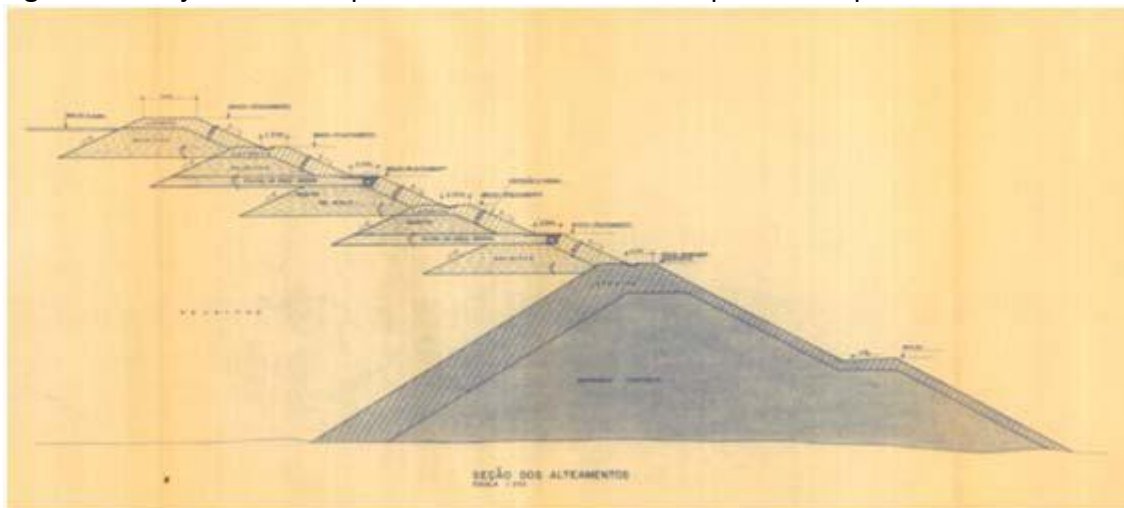
A B I foi idealizada para possuir alteamentos sucessivos para montante, na medida que o rejeito fosse disposto na estrutura.

O documento N/COD- 1039/80 elaborado pela Tecnosan Engenharia S.A., a segunda projeto da B I, informa que a barragem seria alteada desde a EL. 874,0 m até a EL. 889,0 m por meio de 5 alteamentos consecutivos. Estes alteamentos, de 3 m de altura cada, elevando a crista sucessivamente para as EL. 877,0; 880,0; 883,0; 886,0 e 889,0 m (cota final) seriam executados pela técnica de construção de montante, utilizando o próprio rejeito lançado no reservatório como material de construção.

O projeto previa também a proteção dos diques de rejeito por camada de laterita de 1,5 m de espessura. Foram projetados ainda filtros horizontais locados na base do 2º e 4º dique de alteamento. O projeto dos alteamentos pode ser visto na figura 17. Contudo, **os primeiros alteamentos da barragem não foram executados de acordo com o projeto original elaborado pela Tecnosan**, conforme figura 18. O 1º e 2º alteamentos foram divididos em 5 etapas conforme abaixo:

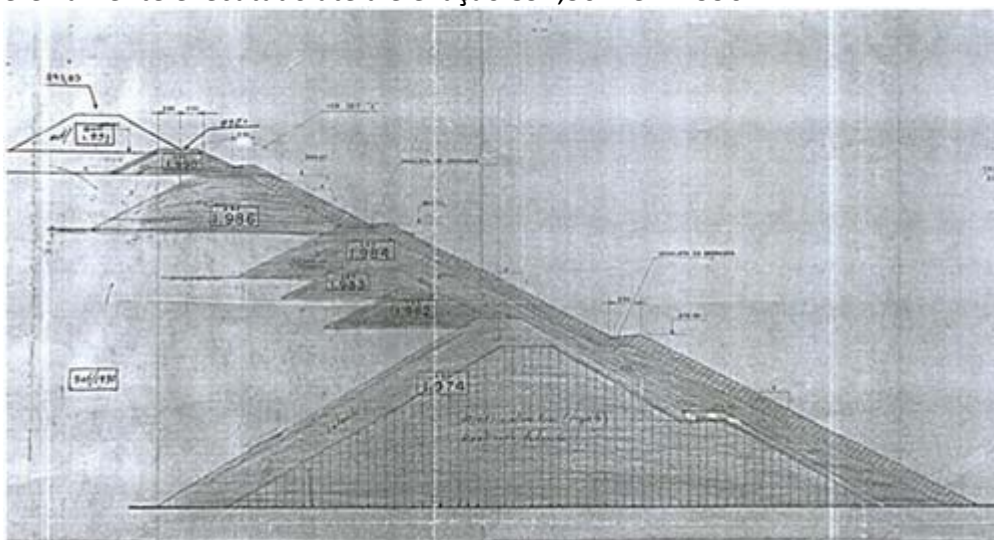
1. 1982, alteamento a montante, 3,0 m de altura (EL. 874,0 m a EL. 877,0 m);
2. 1983, alteamento a montante, 2,0 m de altura (EL. 877,0 m a EL. 879,0 m);
3. 1984, alteamento a montante, 5,0 m de altura (EL. 879,0 m a EL. 884,0 m);
4. 1986, alteamento por linha de centro, 5,0 m de altura (EL. 884,0 m a EL. 889,0 m). Esse alteamento envelopou o maciço inicial e todos os alteamentos que já haviam sido executados. Ainda houve a execução de uma proteção com solo laterítico e foi criada uma berma no talude de jusante na EL. 672,0 m;
5. 1990, alteamento a montante, 2,5 m de altura (EL. 889,0 m a EL. 891,5 m, sendo que alguns documentos reportam EL. 892,00 m).

Figura 17: Projeto dos 5 diques de alteamento da B I a par r do dique inicial



Fonte: Relatório técnico de consolidação de dados e premissas, Potamos (POTVAL02-G2-1-TC-RTE-0006), emissão inicial 24/10/2017

Figura 18: Projeto dos alteamentos da B I a par r do dique inicial efetivamente executado até a elevação 891,50m em 1990



Fonte: Relatório técnico de consolidação de dados e premissas, Potamos (POTVAL02-G2-1-TC-RTE-0006), emissão inicial 24/10/2017

Importante destacar que nos documentos históricos da estrutura não há informação de quais seriam os motivos que levaram às mudanças das elevações dos alteamentos ao longo do tempo, tampouco sobre a necessidade ou não de um novo projeto. Há menções de uma carta da Tecnosolo, de 1983, referente à existência de surgências.

Segundo o documento Nº TÜV SÜD Bureau RC-SP-117/17, Revisão 4. de 24/08/2018, (pág. 12):

A existência de surgências pode também ter mo vado um alteamento no ritmo menor do que o previsto no projeto inicial da Tecnosan, além do “envelopamento” das estruturas já executadas por meio de um alteamento por linha de centro. **Entretanto, esse envelopamento não previu um dreno de fundo, o que não é prudente pensando-se na melhoria do fator de segurança e a busca pela solução de eventuais surgências. Assim, restam dúvidas quanto os acontecimentos os quais mo varam a execução dos alteamentos conforme mencionados.** (grifo nosso).

O 3º alteamento foi projetado pela empresa Riad Chamas, com crista na El. 899,0 m (ou 898,0 m, conforme alguns documentos), sendo que a B I seguiu a geometria do dique inicial. Os desenhos deste projeto não constam nos documentos disponibilizados pela Vale, somente consta que este alteamento foi executado em duas etapas, a saber:

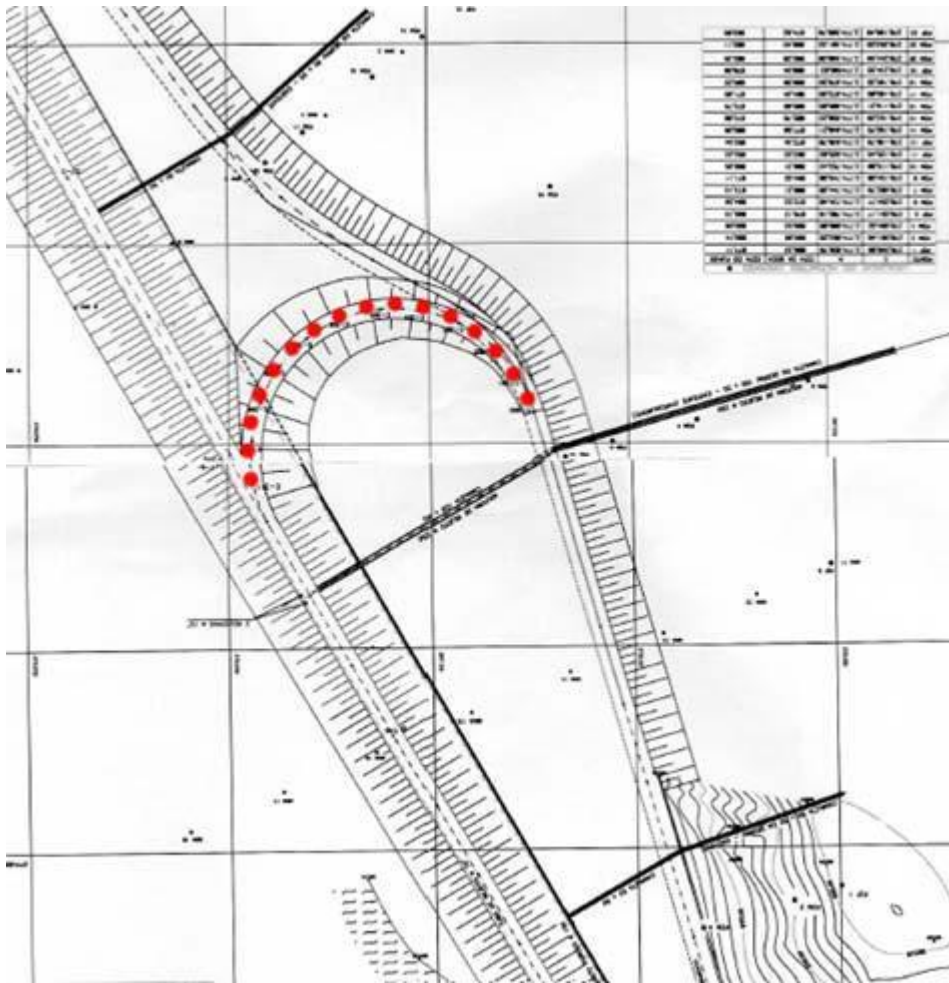
1. Em 1991, alteamento a montante, 3,0 m de altura (El. 892,0 m a El. 895,0 m);
2. Em 1993, alteamento a montante, 4,0 m de altura (El. 895,0 m a El. 899,0 m).

A Tecnosolo projetou do 4º ao 8º alteamento, com alturas variáveis, todos executados pelo método a montante. **No desenvolvimento do projeto do 4º alteamento, foi constatado que o fator de segurança da estrutura não atendia ao recomendado pela norma técnica, sendo inferior a 1,3. Detectou-se ainda surgências na região do maciço inicial próximo a El. 875,0 m.** (grifo nosso)

Em vista do exposto, o eixo da estrutura foi deslocado, formando na crista uma berma extensa com largura variável, para montante em relação ao eixo anterior. O sistema de drenagem interna foi composto por filtro horizontal de sinterfeed com tubos porosos até sua saída. O projeto de re linização não levou em consideração, entretanto, a possibilidade de menor consolidação dos rejeitos no recuo sobre o qual o dique de alteamento ficaria apoiado.

O projeto do 4º alteamento especificava ainda um acesso entre o 3º e o 4º diques (figura 19), contudo, constatou-se por imagens da barragem ao longo do tempo que não foi seguido o projeto. Não se sabe se este acesso teria alguma função estrutural junto ao barramento.

Figura 19: Projeto que previa um talude e berma entre o 3º e o 4º alteamento (traço vermelho)



Fonte: Projeto executivo do 4º alteamento da Barragem I, folhas 1 e 3 - Planta, Tecnosolo

O 5º alteamento foi projetado com crista entre El. 909 m e El. 911 m, altura de 5,0 m e inclinação dos taludes de montante e jusante igual a 1V: 2H e 1V: 2,5H, respectivamente.

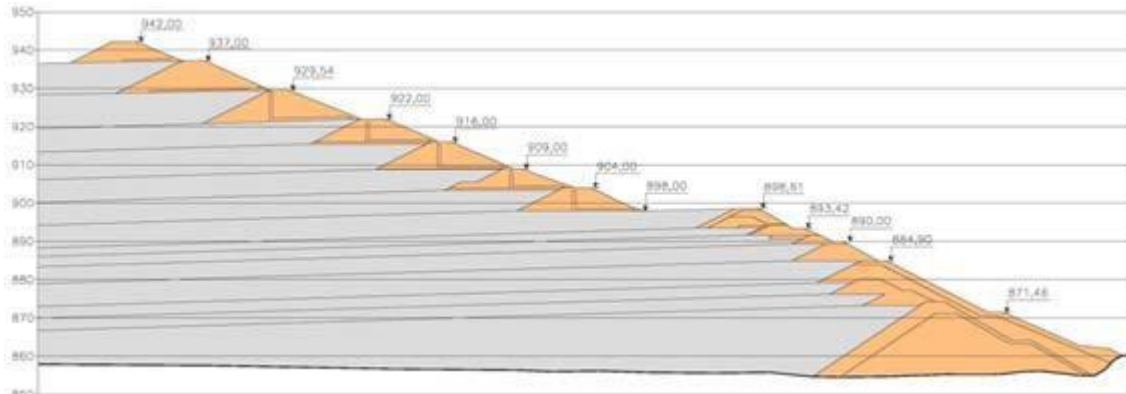
Diferentemente dos outros alteamentos, foi indicado que a ombreira direita do dique fosse construída de maneira mais lenta e que possuísse uma berma a montante com 4,0 m de largura, devido à presença de rejeito fofo e saturado ou com alto grau de saturação (grifo nosso). O aterro projetado era composto por material argilo-siltoso nas primeiras camadas e rejeito da praia das camadas restantes, com filtro vertical e horizontal construído de sinterfeed.

Os 6º, 7º e 8º alteamentos foram projetados com características semelhantes ao anterior com altura dos diques de 6,5 m, 6,0 m e 7,5 m, respectivamente. O material constituinte do sistema de drenagem interna do último alteamento foi areia. Na saída da drenagem interna deste último alteamento foi planejada uma trincheira drenante de 2,0 m de profundidade e 0,6 m de largura, com tubos PVC no fundo. Ao final destes alteamentos a estrutura alcançou a crista entre a EL. 929 m e a EL. 930 m.

Os 9º e 10º alteamentos foram projetados pela Geoconsultoria na EL. 937 m e EL. 942 m, com 7,5 m e 5,0 m de altura, respectivamente. Estes aterros foram constituídos por rejeito compactado, com tapete drenante prolongado para montante, apresentando coeficiente de permeabilidade superior a 10^{-2} cm/s, com um dreno de brita em sua extremidade. Previu-se ainda revestimento do maciço com cascalho laterítico na crista e a montante e grama a jusante.

O projeto previu inclinação dos taludes de montante e jusante igual a 1V: 2H e 1V: 2,4H, respectivamente. **Diferentemente de como projetado, o dique do 9º alteamento foi construído de argila compactada e sistema de drenagem interna com tapete prolongado para montante e filtro ver cal (grifo nosso).** A figura 20 mostra a geometria final da barragem.

Figura 20: Seção da B I com vista do dique inicial e dos dez alteamentos construídos



Fonte: RISR da B I de 2016, Geoconsultoria, pág. 6

Até o ano de 1995, os alteamentos foram divididos em “etapas”, sendo que um determinado alteamento possuía mais de uma “etapa”. Após o ano de 1995, cada alteamento passou a ser considerado como uma única etapa. Há divergências documentais quanto aos primeiros alteamentos. Assim, foi mantida a nomenclatura do documento mais atualizado, o relatório de consolidação de dados elaborado em 2016, o qual considerou o dique de par da como 1º alteamento. Apesar de confusa, observou-se que essa nomenclatura tem sido adotada pelas diferentes projectas ao longo do tempo. O quadro 5 apresenta um resumo da sequência da construção da B I. Percebe-se que não existem informações sobre as empresas que executaram os alteamentos em 1983, 1986 e 1993.

Quadro 5: Resumo da sequência da construção da B I

Etapa	Ano	Alteamento	El. (m)	Altura máx. (m)	Tipo de alteamento	Projetista	Construtora
1	1976	Bar. Inicial	874	18	-	Christoph Erb	Emtel
2	1982	2.º	877	21	montante	Tecnosan	Tercam
3	1983		879	23	montante		?
4	1984		884	28	Linha centro		Construtora Sul Minas
5	1986		889	33	montante		?
6	1990		891,5	35,5	montante		Unienge Com. e Constr. Ltda.
7	1991	3º	895	39	montante	Riad Chammas	Construtora Sul Minas
8	1993		899	43	montante		.
9	1995	4º	905	49	montante	Tecnosolo	CMS Constr.S.A
10	1998	5º	910	54	montante		U&M
11	2000	6º	916,5	60,5	montante		Constr. Dragagem Paraopeba
12	2003	7º	922,5	66,5	montante		Construtora Impar Ltda.
13	2004	8º	929,5	73,5	montante		Integral
14	2008	9º	937,0	81,0	montante	Geoconsultoria	Integral
15	2013	10º	942,0	86,0	montante	Geoconsultoria	Salum Enga.

Fonte: "REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO (Documento TÜV SÜD BUREAU RC-SP-11/17, Revisão 4, de 24/08/2018, p. 11)

De acordo com o exposto, o projeto dos diques de alteamento da B I passou por alterações que não foram explicadas pela Vale e suas projetistas. Apesar de não ficada, a Vale não apresentou documentos que comprovassem como foram executados os diques de alteamento, isto é, *As Built* (como executado). Segundo informações fornecidas pela empresa, ela não possuía tais documentos.

Em 2011 a projetista VOGBR elaborou projeto conceitual para recuperação de finos da B I. O projeto previa o desmonte mecânico da estrutura ao longo de 19 anos, com a exploração do material depositado no reservatório e dos diques, já que o mesmo possuía concentração de minério suficiente para seu beneficiamento com novas tecnologias de processamento. Destaca-se que esse projeto de descomissionamento não chegou a ser executado pois a Vale ainda aguardava a licença ambiental para sua realização.

Capítulo 2: A Drenagem da Barragem I

2.1. Considerações preliminares

A água que flui, ou percola, por todo o reservatório e pelo barramento deve ser drenada com a máxima eficiência, pois, caso contrário, a pressão neutra (poropressão) poderá afetar a estabilidade da estrutura.

Antes de iniciar a análise sobre o sistema de drenagem existente na B I, faremos considerações sobre as premissas adotadas no projeto do dique inicial quanto à linha freática e sobre a necessidade de seu rebaixamento visando aumentar o fator de segurança de estabilidade, possibilitando o pretendido descomissionamento da B I pela Vale.

2.1.1. Linha freática no dique inicial

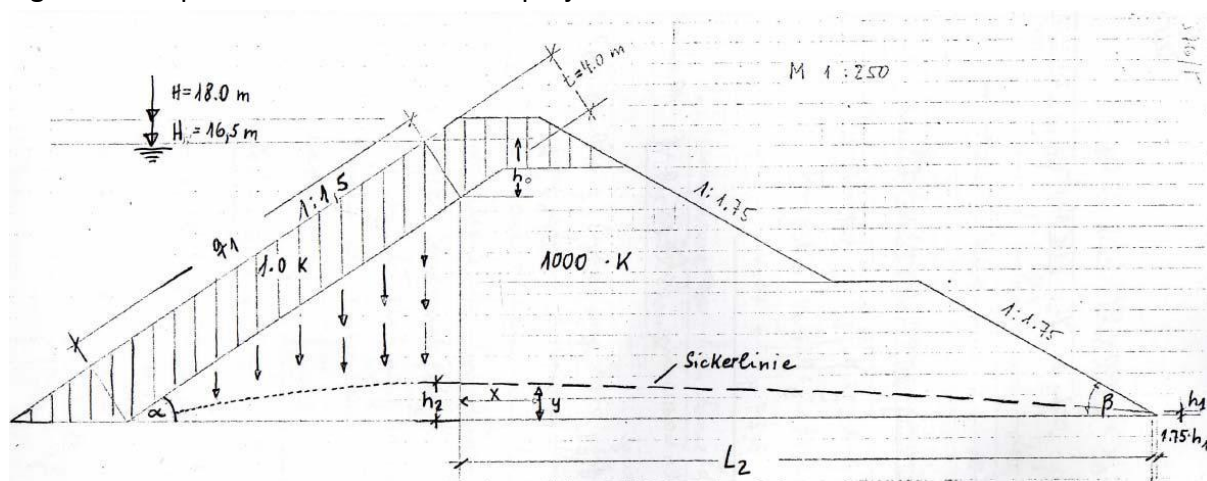
O relatório técnico do projeto do maciço inicial, elaborado por Cristoph Erb, em agosto de 1975, escrito no idioma alemão, informa às pág. 15 e 16, no item 3.4:

Determinação da linha freática

A memória de cálculo para definir o traçado da linha freática está explicitada no Anexo 3. Assumiu-se que o minério fino é pelo menos mil vezes mais permeável que a terra vermelha (laterita) incorporada na impermeabilização do lado de montante e que não ocorre acúmulo de água na zona de contato com a canga (rocha de minério de ferro). Com base nestas premissas, a posição de afloramento da água no talude de jusante foi determinada como sendo $h_1 \approx 0,15$ m. A linha freática está tão profunda na área do núcleo da barragem que o fluxo de infiltração ou seus efeitos não afetariam a estabilidade da face de jusante da barragem. Mesmo no caso de a razão entre os coeficientes de permeabilidade ser de apenas 1:100, o afloramento da fonte de água no talude de jusante ocorreria em $h_1 \approx 1,25$ m, uma posição muito baixa que não poderia comprometer a estabilidade do talude de jusante. Além disso, é importante ressaltar que a barragem, do lado de jusante, está assentada sobre uma camada de canga (rocha resistente) o que por si só impede a ocorrência de um estado de estabilidade crítica.

Na pág. 33 do relatório técnico do projeto do maciço inicial encontra-se o único desenho do dique inicial com a representação da linha freática (figura 21).

Figura 21: Dique inicial e a linha freá ca projetada

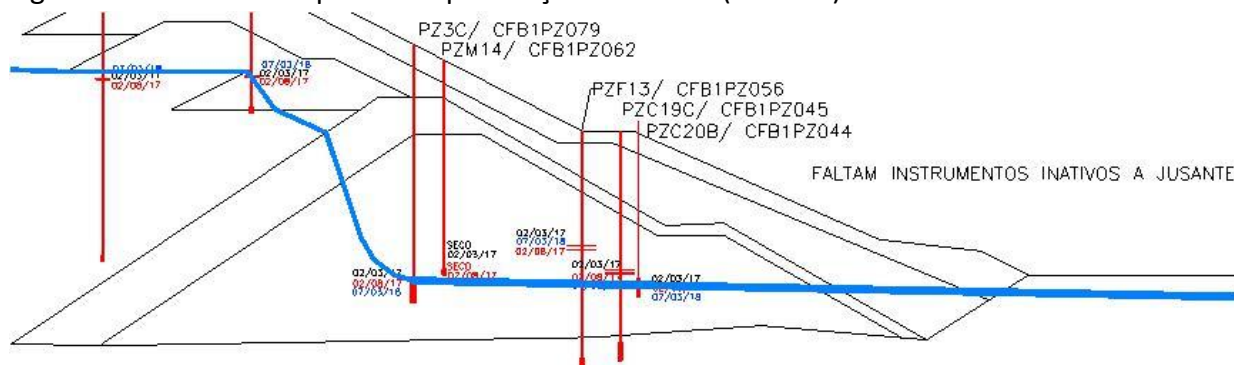


Fonte: Relatório técnico do projeto do maciço inicial, Cristoph Erb, agosto de 1975

A premissa do projeto de Christoph Erb era de que o afloramento da linha freá ca no talude de jusante ocorreria em altura aproximada de 15 cm em relação ao pé da barragem, considerando que o material utilizado na construção do dique inicial (minério ultra fino) era mil vezes mais permeável que a camada de laterita lançada no talude de montante. Mesmo se o minério ultra fino fosse apenas cem vezes mais permeável que a laterita, o afloramento de água aconteceria no máximo a 1,25 m de altura, o que não comprometeria a estabilidade do talude de jusante.

Verifica-se contudo que o previsto no projeto do dique inicial em relação à linha freá ca não foi confirmado em estudos de campo posteriores. De acordo com apresentação realizada durante o PIESEM, de 01 a 06/10/2018, a linha freá ca que passava pela Seção 4-4 da B I chegou a aproximadamente 1/4 da altura deste dique, que nha 18 metros de altura (figura 22).

Figura 22: Linha freá ca passando pela Seção 4-4 da B I (cor azul)



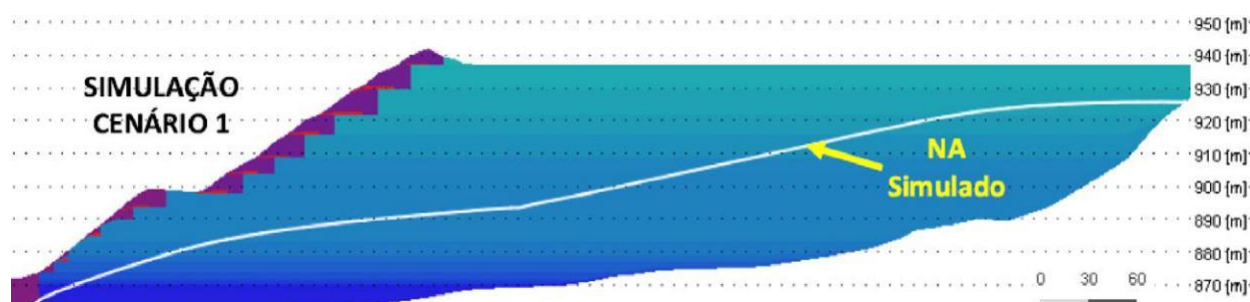
Fonte: Apresentação "Dam I - Córrego do Feijão Mine, Periodic Review of Dam Safety, Liquefaction analyses", Vale, slide 15, PIESEM, outubro de 2018

Além disso, o dique inicial foi posteriormente envelopado em 1984, quando ocorreu um alteamento por linha de centro na B I. Logo, o pé da barragem foi aterrado e não foram construídos drenos neste local.

2.1.2. Rebaixamento da linha freática

Em julho de 2017, a empresa MDGeo apresentou um relatório intitulado "Modelo de fluxo de água subterrânea na barragem I de rejeitos da Mina Córrego do Feijão e proposta de projeto do sistema de desaguamento do reservatório, Brumadinho - MG" para o cálculo do volume de água a ser bombeado da barragem para o rebaixamento da linha freática. Segundo o estudo, as bombas a serem instaladas deveriam possuir capacidade de bombeamento igual a 229,5 m³/h para que o rebaixamento fosse atingido no final de 2017, e de 98,1 m³/h para o final de 2018, considerando o início de bombeamento em junho de 2017 e o Cenário 1 (figura 23), quando a linha freática ficaria abaixo da superfície de ruptura para uma condição de estabilidade com fator de segurança 1,3 para a condição não drenada.

Figura 23: Linha do lençol freático obtida após o bombeamento de água, Cenário 1

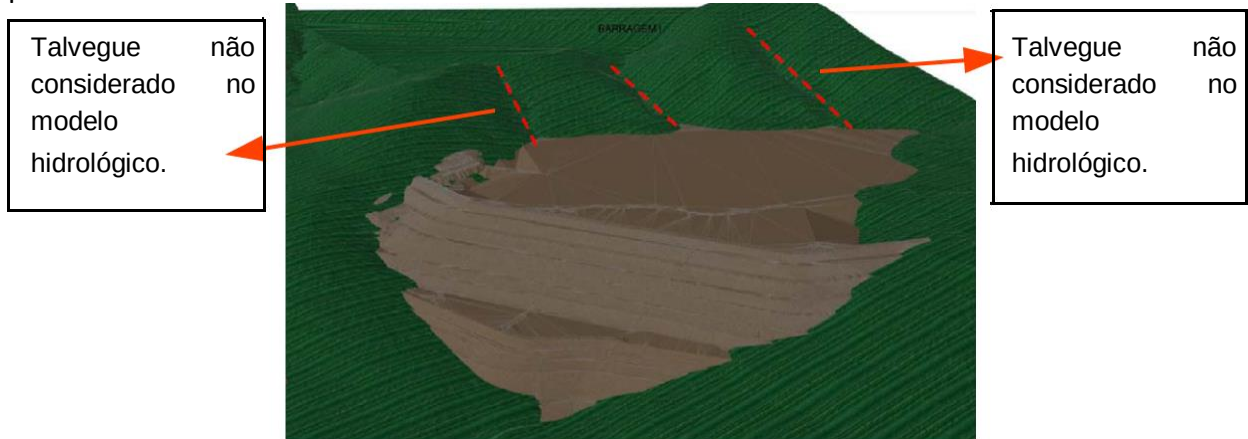


Fonte: Modelo de fluxo de água subterrânea na barragem I de rejeitos da Mina Córrego do Feijão e proposta de projeto do sistema de desaguamento do reservatório, Brumadinho - MG", MDGeo, julho de 2017

Há que se frisar que foi considerado neste modelo hipotético a presença de um dreno de fundo na B I, que na verdade não existe¹⁷. Também não foi considerada a contribuição de água afluyente advinda de outros dois talvegues existentes na bacia de contribuição da B I, conforme figura 24, e da contribuição de água subterrânea advinda do curso d'água existente na área da barragem, figura 25.

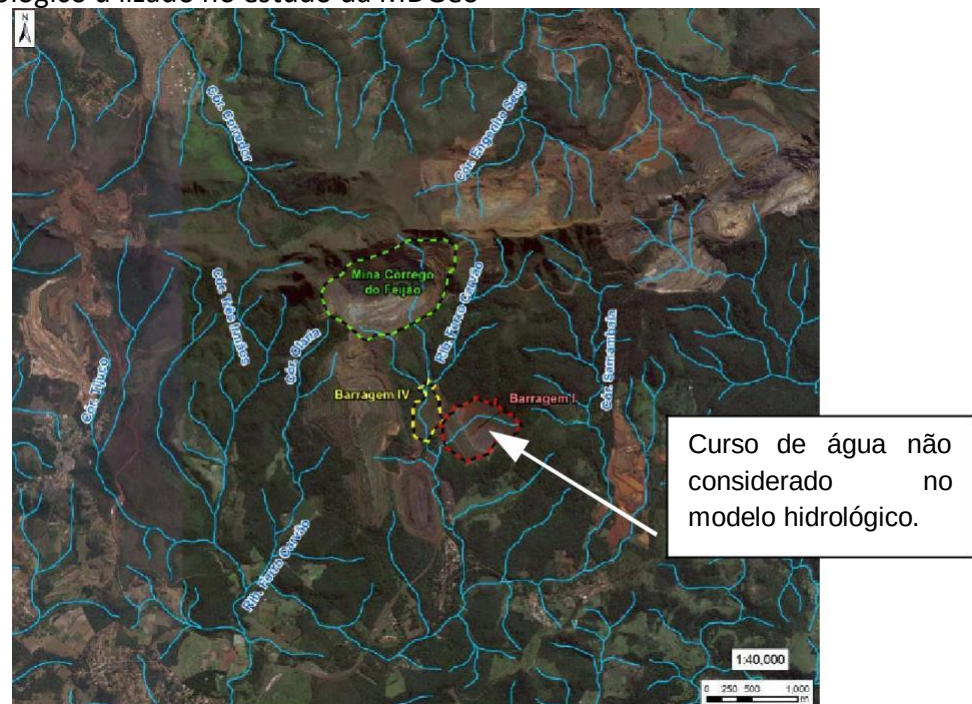
¹⁷ O projeto do dique inicial não contempla um dreno de fundo; A REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO (Documento Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17, Revisão 4, de 24/08/2018, Pág. 11) confirma sua inexistência.

Figura 24: Contribuição de água para a B I não considerada no estudo hidrológico realizado pela MDGeo



Fonte: Apresentação "Descommissioning B I Dam", slide 17, Vale, PIESEM, outubro de 2018

Figura 25: Bacia hidrográfica junto à B I. Em destaque, o curso de água não considerado no modelo hidrológico utilizado no estudo da MDGeo



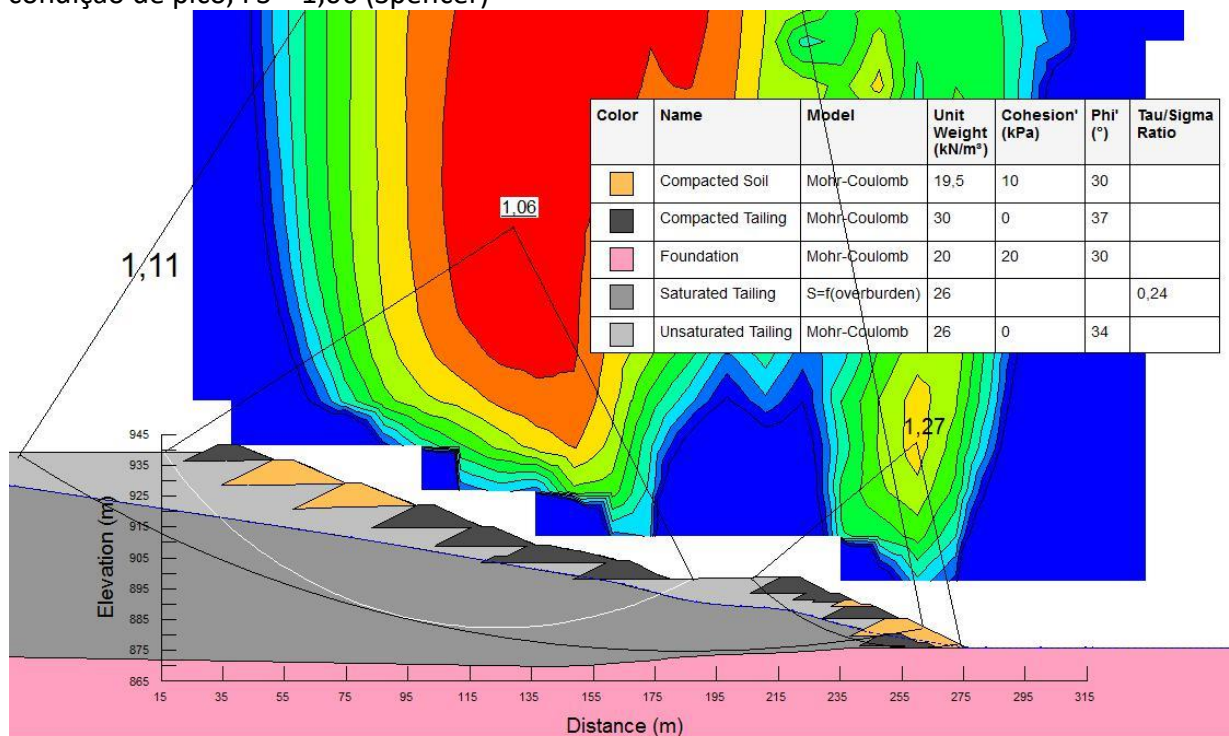
Fonte: Modelo de fluxo de água subterrânea na barragem I de rejeitos da Mina Córrego do Feijão e proposta de projeto do sistema de desaguação do reservatório, Brumadinho - MG", pág. 14, MDGeo, julho de 2017

A empresa Potamos foi contratada pela Vale para realizar estudos ligados à "Gestão de Riscos Geotécnicos" em 2017. Em nota técnica denominada "Alternativas avaliadas para incremento da segurança quanto à liquefação (POTVAL02G2-1-TC-RTE-0068)", com data de elaboração de 19/01/2018 e com data de aprovação de 30/05/2018, a Potamos apresentou alternativas avaliadas para incremento da segurança quanto à liquefação. Citou que a Vale solicitou a realização de uma reunião para **discutir possíveis alternativas de melhoria da estabilidade da barragem quanto à liquefação**. Que as seguintes premissas básicas foram colocadas pela Vale: "as intervenções deveriam ser de rápida implantação e possibilitar a elevação do fator de segurança a valor que atendessem aos critérios consagrados de segurança quanto à liquefação" (grifos nossos).

Foram fornecidas algumas informações básicas sobre o barramento em estudo, cabe destacar que: “imediatamente a jusante da B I estão posicionadas as instalações de tratamento de minério; adjacente à barragem está localizada a Barragem VI; a Vale tem o plano de “reminerar” os rejeitos depositados na Barragem I, o que já está em processo de licenciamento ambiental; já está sendo conduzido o projeto executivo para a descaracterização da Barragem B I”.

É realizado um resumo sobre o cálculo de ruptura por liquefação da Barragem B I e apresentada a figura 26.

Figura 26: Análise determinística para o talude de jusante em condições não-drenadas, condição de pico, FS = 1,06 (Spencer)



Fonte: Nota Técnica "Alternativas avaliadas para incremento da segurança quanto à liquefação", Potamos, 2017

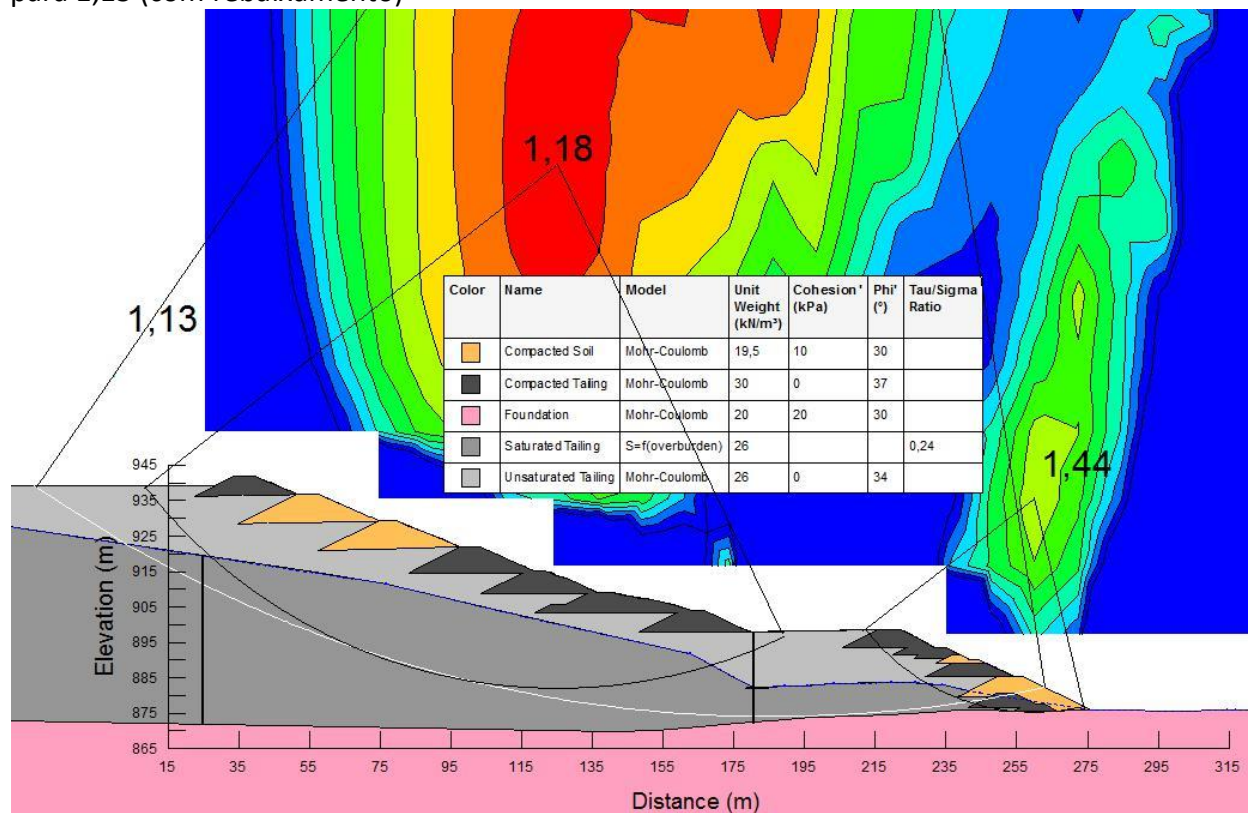
O documento relatou que havia três situações que não atenderiam aos critérios usuais de projeto ($FS > 1,3$), duas locais (berma inferior e berma superior) e uma global (passando pelos rejeitos e atingindo o dique inicial), e que diante disso foram levantadas algumas ideias para melhoria da segurança da estrutura para discussão com a Vale.

Assim, são apresentadas as seguintes ideias pela Potamos para intervenções que pudessem propiciar uma melhoria nas condições de estabilidade quanto à liquefação para a Barragem I.

2.1.2.1. Rebaixamento do nível piezométrico com poços

Conforme figura 27, esta alternativa teria um ganho pouco significativo e, isoladamente, essa intervenção não traria a barragem para uma condição de segurança que atenda às exigências. Em um primeiro momento, essa alternativa não foi considerada atraente quer pela Potamos, quer pela Vale e foi deixada de lado.

Figura 27: Análise determinística para o talude de jusante em condições não-drenadas, considerando cone de rebaiçamento de 10m. Obs.: FS modificado de 1,06 (sem intervenção) para 1,13 (com rebaiçamento)



Fonte: Nota Técnica "Alternativas avaliadas para incremento da segurança quanto à liquefação", Potamos, 2017

2.1.2.2. Execução de berma de estabilização com ulização de enrocamento ou estéril

Três alternativas foram apresentadas para a construção de berma de estabilização, uma com enrocamento de pedra e duas com a ulização de estéril, com e sem coesão.

Quanto a esse tipo de solução (berma de reforço) foram discutidas algumas vantagens e desvantagens:

Vantagens:

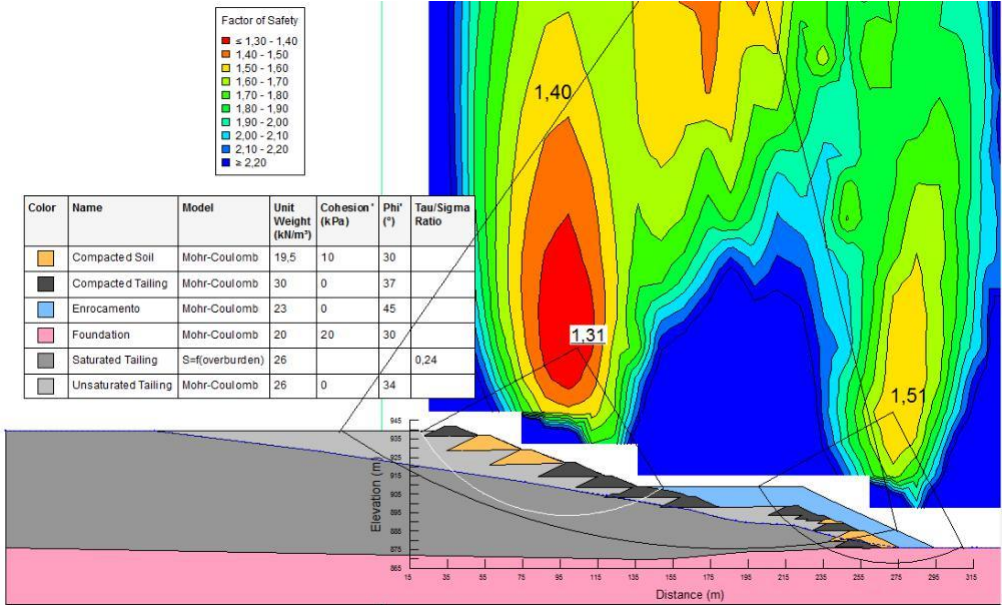
1. Não é necessária a pesquisa de área de empreendimento e licença para obtenção de agregados (comprado) ou estéril;
2. Obtenção do FS requeridos para o módulo de falha liquefação.

Desvantagens:

1. Necessidade de drenagem interna entre a berma e a barragem e na base da berma;
2. Grande volume de material necessário e custo associado (principalmente no caso de berma de enrocamento);
3. Interferências com as estruturas existentes a jusante;
4. Principalmente, a necessidade de execução da berma com velocidade controlada e monitoramento das pressões neutras no rejeito para que as cargas da berma não venham a se tornar um gatilho para a liquefação.

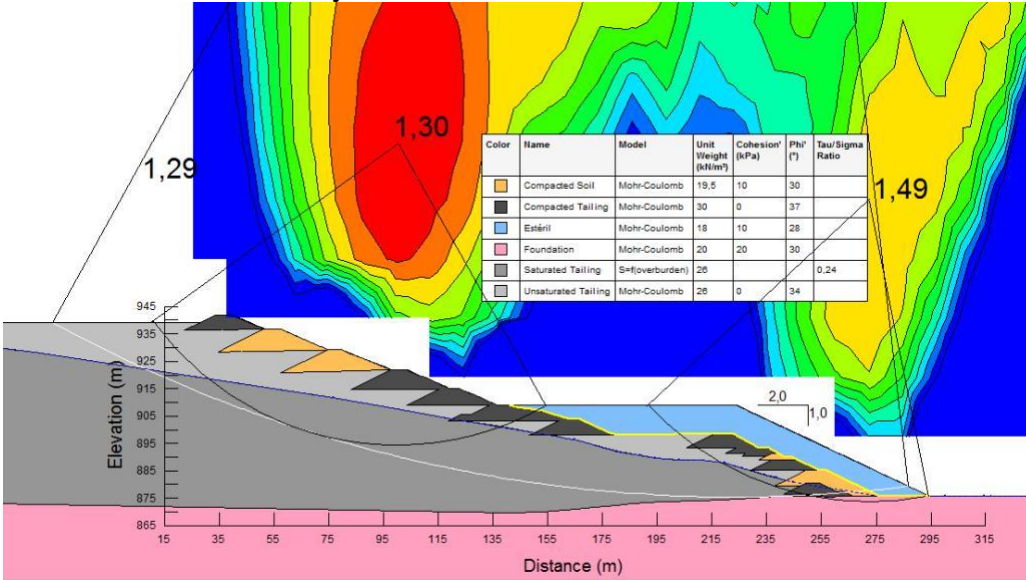
Para a simulação de execução de bermas de reforço, foram encontrados Fatores de Segurança conforme figura 28, figura 29 e figura 30.

Figura 28: Análise determinís ca para o talude de jusante em condições não-drenadas, considerando berma de estabilização em enrocamento



Obs.: FS modificado de 1,06 (sem intervenção) para 1,31 (com berma)

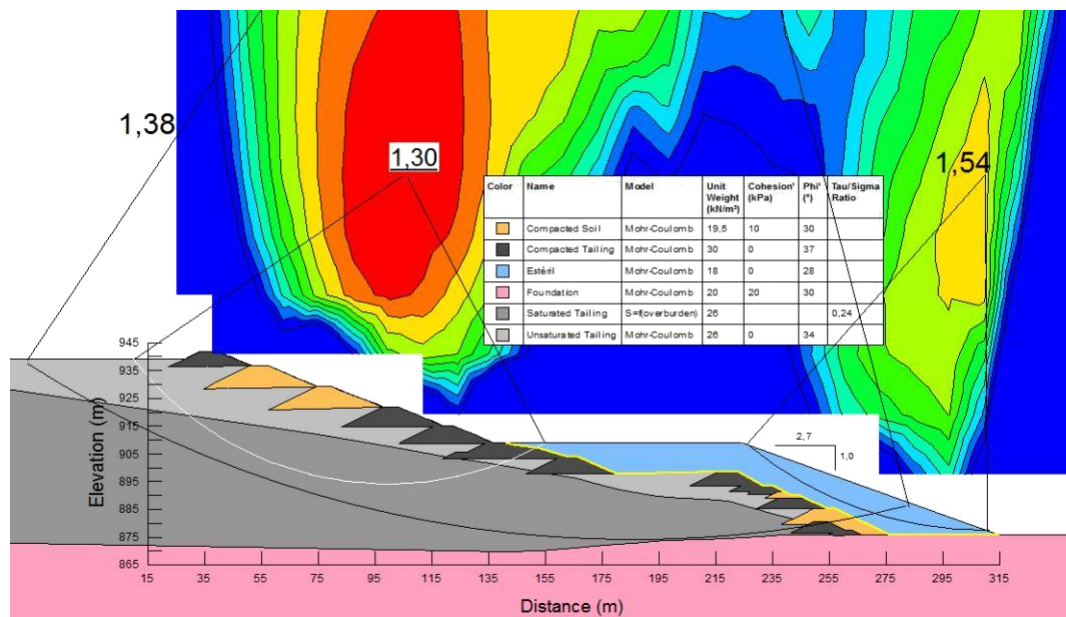
Figura 29: Análise determinís ca para o talude de jusante em condições não-drenadas, considerando berma de estabilização em estéril com coesão



Fonte: Nota Técnica "Alterna0vas avaliadas para incremento da segurança quanto à liquefação", Potamos, 2017.

Obs.: FS modificado de 1,06 (sem intervenção) para 1,29 (com berma)

Figura 30: Análise determinís ca para o talude de jusante em condições não-drenadas, considerando berma de estabilização em estéril sem coesão



Fonte: Nota Técnica "Alternativas avaliadas para incremento da segurança quanto à liquefação", Potamos, 2017.
 Obs.: FS modificado de 1,06 (sem intervenção) para 1,30 (com berma)

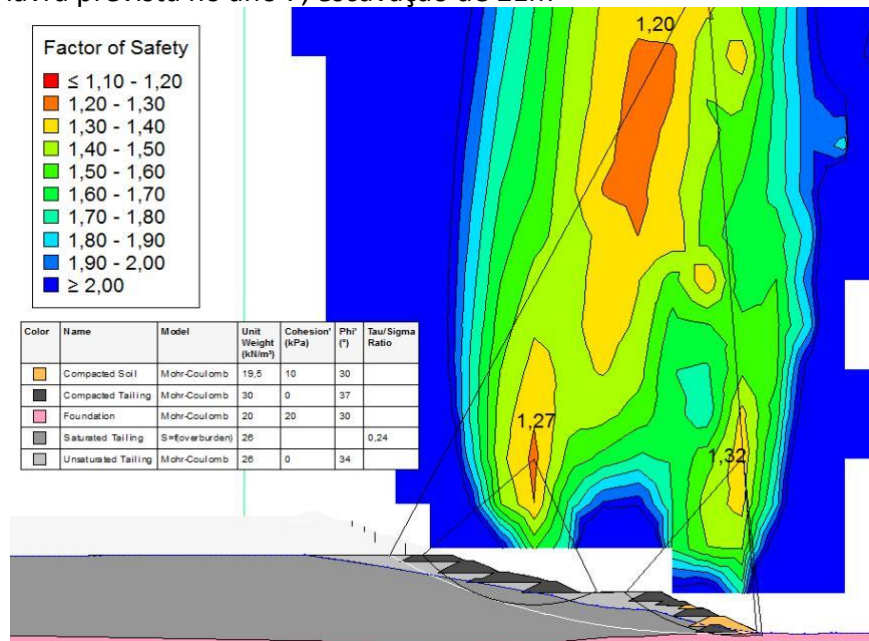
2.1.2.3. Lavra da barragem

Como descrito anteriormente, a Vale possuía um plano para lavar os rejeitos da Barragem I e já tinha elaborado um projeto conceitual e um projeto executivo que estava em desenvolvimento. Restava apenas a fase final de licenciamento junto aos órgãos ambientais.

Quanto a esta alternativa o documento enfatiza que no curto prazo (o que foi uma das premissas indicadas pela Vale para elaboração das sugestões de intervenções) a lavra da barragem, isoladamente, não leva à situação de segurança exigida pelos critérios atuais de projeto.

As simulações para cálculo do FS da barragem com a implementação da lavra demonstram que somente após 7 anos se teria uma condição com FS próximo a 1,30, conforme figura 31.

Figura 31: Análise determinística para o talude de jusante em condições não-drenadas, considerando lavra prevista no ano 7, escavação de 21m



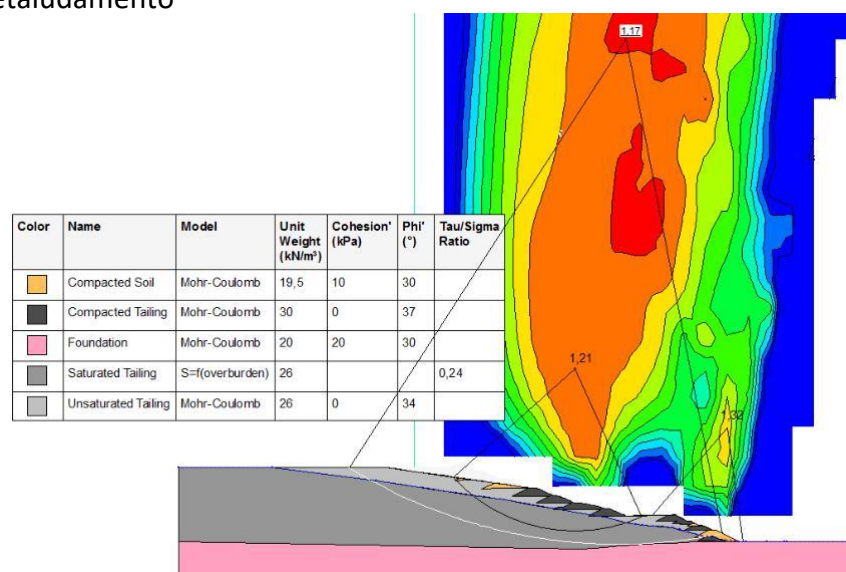
Fonte: Nota Técnica "Alternativas avaliadas para incremento da segurança quanto à liquefação", Potamos, 2017

Obs.: FS modificado de 1,06 (sem intervenção) para 1,20 (com lavra)

2.1.2.4. Retaludamento da barragem

Ainda segundo o documento a intervenção de retaludamento (figura 32) poderia ser considerada uma etapa prioritária dentro do conceito de se lavar a barragem, mas que por si só não seria suficiente para atingir FS mínimos e deixa claro que o retaludamento exporia os rejeitos secos e exigiria a colocação de uma proteção para evitar erosão por escoamento superficial e vento. Considerou que essa proteção teria caráter provisório já que se pretende reminerar os rejeitos da barragem.

Figura 32: Análise determinística para o talude de jusante em condições não-drenadas, considerando retaludamento



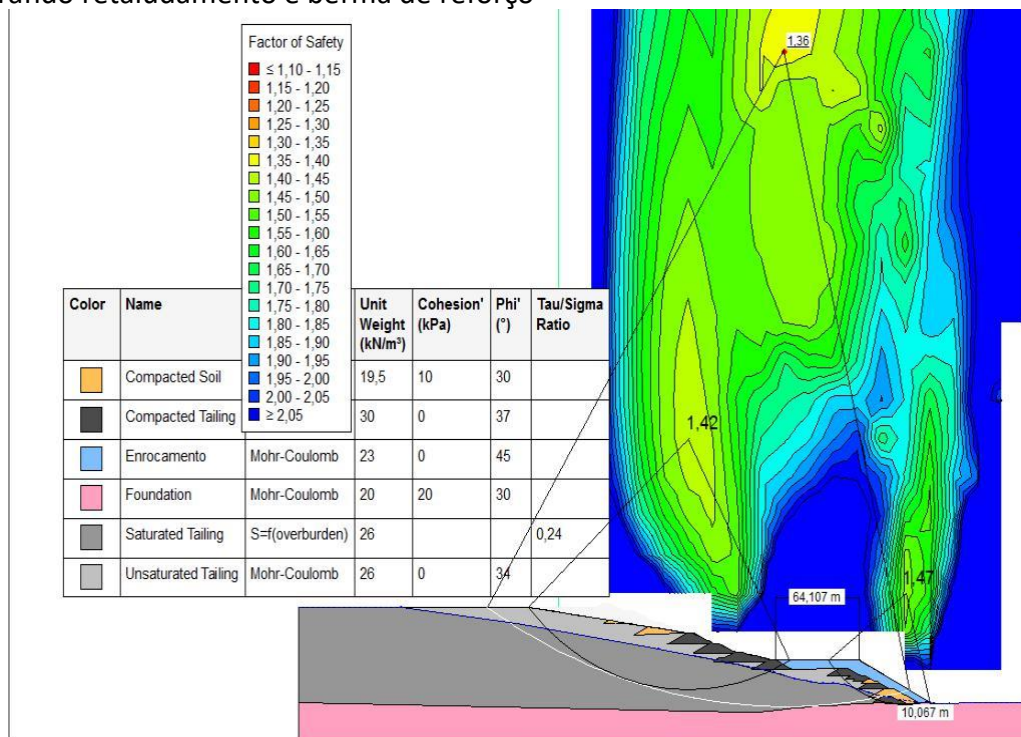
Fonte: Nota Técnica "Alternativas avaliadas para incremento da segurança quanto à liquefação", Potamos, 2017.

Obs.: FS modificado de 1,06 (sem intervenção) para 1,17 (com retaludamento)

2.1.2.5. Retaludamento da barragem associado a uma berma de estabilização

Foi proposta também uma solução de retaludamento do barramento conjugado com a execução de uma berma de reforço em enrocamento de menores proporções que a anteriormente proposta, conforme figura 33.

Figura 33: Análise determinística para o talude de jusante em condições não-drenadas, considerando retaludamento e berma de reforço



Fonte: Nota Técnica "Alternativas avaliadas para incremento da segurança quanto à liquefação", Potamos, 2017, Obs.: FS modificado de 1,06 (sem intervenção) para 1,36 (com retaludamento e berma de reforço)

Quanto a esta solução são enumeradas as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Não é necessária a pesquisa de área de empréstimo e licença para a utilização do enrocamento que seria comprado de pedra. Com isso se otimiza a questão de prazo;
- O retaludamento seria apenas uma antecipação de um serviço previsto (lavra da barragem);
- A berma de estabilização necessitaria de menores volumes de material para sua execução com consequente menor custo.

Desvantagens:

- Necessidade de transições entre a barragem e a fundação e a berma de enrocamento;
- Custos de execução da berma com material comprado de pedra;
- Interferências com as estruturas a jusante ainda que de menor porte que as discutidas com relação à berma de estabilização;
- Necessidade de proteção de face para o talude do retaludamento;

- d) Principalmente, a necessidade de execução da berma com velocidade controlada e monitoramento das pressões neutras no rejeito para que as cargas da berma não venham a se tornar um ga lho para a liquefação.

2.1.2.6. Associação de um rebaixamento do nível de água na barragem através de DHP (Drenos Horizontais Profundos) e Lavra da Barragem

Segundo o documento:

A equipe da Vale vislumbrou uma solução de rebaixamento do nível de água da barragem com a execução de drenos horizontais profundos (DHP) de grande extensão (da ordem de 100m) próximos ao pé da barragem. Esse po de DHP muito longos, segundo a Vale, já foi implantado em outras obras com sucesso na execução e eficiência dos mesmos.

A equipe da Potamos não tem experiência com DHP tão longos quanto a ordem de 100m. **Em geral, as empresas especializadas nesse po de serviço limitam a execução na ordem de 30m.** Dadas, porém, as experiências de sucesso pretéritas da Vale com esse po de solução de DHP longos, a Potamos considera uma excelente ideia implantar-se esse po de intervenção.

Sem dúvida, rebaixar o nível de água na barragem traz bene fícios em termos de segurança quanto à liquefação.

As questões associadas a essa solução passam pelo quanto os DHP serão capazes de rebaixar o nível de água no interior do maciço de rejeitos e em quanto tempo isso ocorrerá. **A premissa de melhoria da segurança a curto prazo colocada pela própria Vale pode não ser atendida.**

Ainda segundo a Vale, essa intervenção de DHP longos associada à realização da lavra da barragem, conforme já discu do anteriormente, levará a barragem a uma situação de incremento de segurança.

A colocação é correta, porém como descrito anteriormente, **a lavra em si não a nge, também, o obje vo de colocar a barragem em condições exigidas de segurança a curto prazo.**

Não foram ainda realizados estudos para uma primeira avaliação da eficiência ao longo do tempo da combinação dos DHP longos com a remineração da barragem na melhoria das condições de segurança da Barragem I.

De qualquer modo, a Vale pretende persis r nessa solução de combinação de intervenções DHP longos + Lavra, mesmo que a questão de atendimento dos fatores de segurança recomendados internacionalmente não seja a ngida a curto prazo.

A Potamos, conforme conversado na reunião com a Vale, realizará alguns estudos de percolação bidimensionais simulando a implantação dos DHP longos, considerando situações de fluxo transitório e em regime permanente para verificar sua influência no rebaixamento dos níveis de água no interior da pilha ao longo do tempo.

Esses estudos de fluxo ao longo do tempo, bem como as expecta vas de rebaixamento da cota da barragem consideradas para os anos vindouros com a remineração, permi rão verificar a evolução da melhoria da segurança ao longo dos próximos anos.

Os estudos de percolação permi rão ainda elaborar dimensionamentos preliminares de espaçamento para a linha de DHP para alimentar o modelo tridimensional que a Vale já dispõe para a Barragem I e, através do programa FeFlow, poderá chegar a um dimensionamento mais preciso. (grifos nossos)

O documento conclui dizendo que:

As soluções de curto prazo para inserir a Barragem B I dentro dos critérios consagrados de segurança passaram pela execução de um reforço à jusante o qual seria minimizado se a ele se associasse um retaludamento da barragem em sua berma superior.

Além da questão de custo, a intervenção proposta de reforço passa pelo risco de se disparar um galho à medida que o carregamento da berma implicará em geração de poropressões no rejeito saturado. A adoção de uma solução desse tipo exigiria estudos e monitoramento para definir a velocidade de construção.

Foi unânime a opinião que, em princípio, não se pretende correr o risco de variar um galho de liquefação ao se buscar uma solução para aumentar a segurança. **Claro está que estudos mais bem elaborados podem reduzir esse risco a níveis totalmente aceitáveis ainda que isso possa representar uma construção muito lenta.**

De todo modo, a Vale optou por adotar uma solução que corresponde à execução de DHP longos (da ordem de 100m de extensão) associado à lavra da barragem que já está em fase de elaboração do projeto executivo e tramitando no órgão ambiental para obtenção da licença para implantação.

Ocorre que a solução que a Vale adotará não coloca a barragem em condições satisfatórias de segurança a curto prazo e isso deve ser considerado.

A Potamos recomenda fortemente que se estude mais profundamente a proposta de retaludamento da barragem no âmbito da lavra da barragem, à medida que se trata apenas de uma priorização de escavação e representa um ganho importante de segurança, ainda que por si só não leve a barragem a uma situação de atendimento a critérios consagrados de segurança. Vale lembrar que essa sugestão implica na necessidade de implantação de uma proteção superficial sobre a superfície retaludada para evitar a erosão. (grifos nossos)

Como se observa, apesar de terem sido oferecidas várias alternativas pela consultoria Potamos para incrementação da segurança da B I quanto ao risco de liquefação, a Vale optou por uma alternativa não validada pela empresa consultora e que ainda não colocava a barragem em condições satisfatórias de segurança a curto prazo. Como a Vale optou pela instalação dos DHP, foi solicitado à empresa MDGeo a realização de um novo estudo, intitulado "Nova simulação de desaguamento da barragem I de rejeitos da Mina de Córrego do Feijão", com data de março de 2018. Este estudo aponta que (pág. 9):

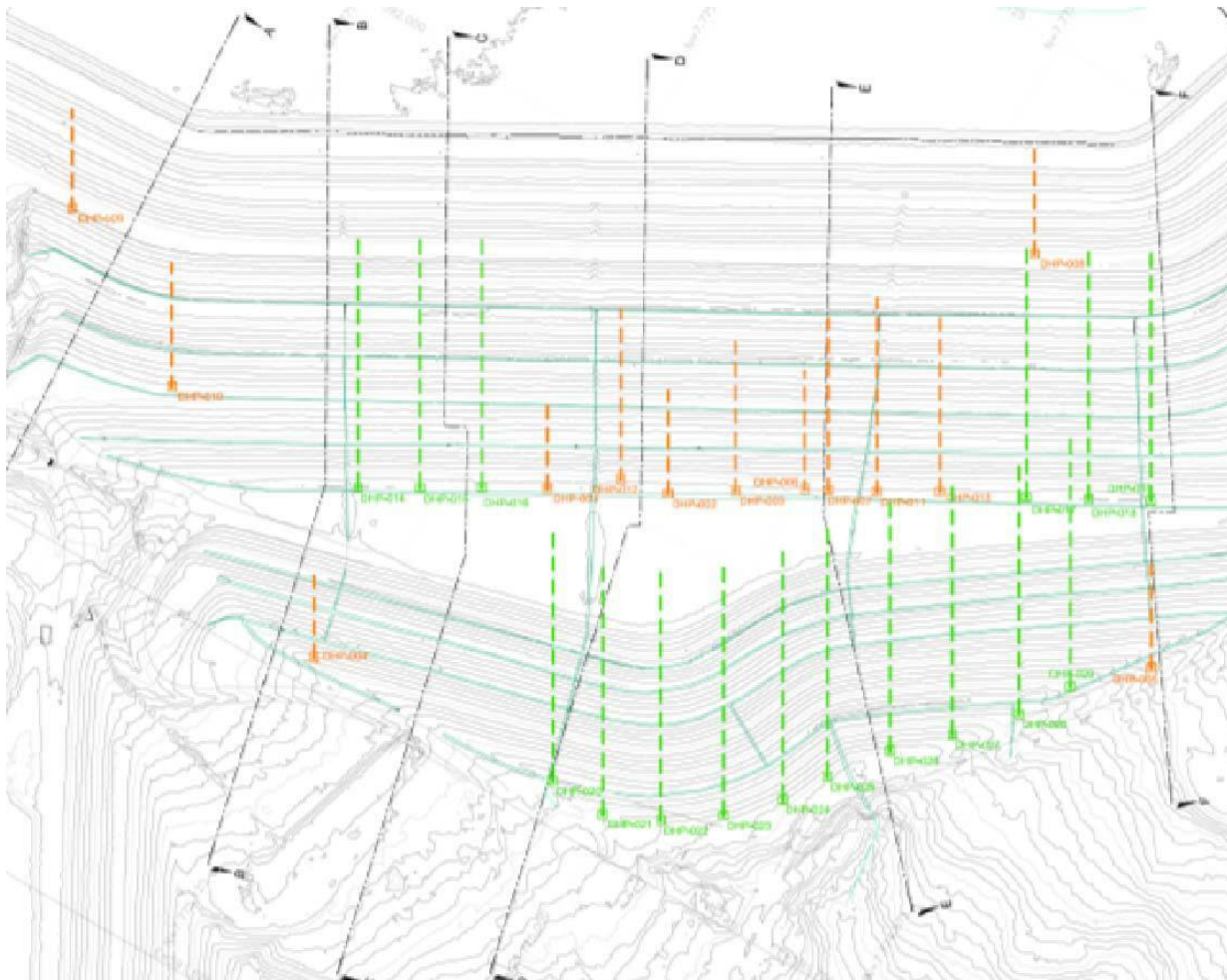
Os níveis d'água resultantes ficaram abaixo da superfície de ruptura. Ressalta-se que quando dos DHP foram inseridos na cota 880m, espaçados de 50 em 50 metros, o rebaixamento não foi satisfatório, sendo necessário adicionar mais DHP (espaçados de 25 em 25m) para obter o nível d'água rebaixado conforme desejado.

No item 4 (Conclusões do documento elaborado pela MDGeo em março de 2018) foi informado que, a partir da simulação de desaguamento realizada, concluiu-se que os níveis d'água resultantes atendiam ao esperado, ficando abaixo da superfície de ruptura (rebaixando de 8,3 a 12 metros nas proximidades da berma central) a partir de 2 anos da instalação dos DHP, isto é, a partir de 24 meses.

2.1.2.6.1. A instalação dos DHP e o fraturamento hidráulico

Diferentemente do planejado pela MDGeo, a Vale resolve instalar apenas 29 DHP em locais bem diferentes daqueles sugeridos pela empresa consultora. Assim, a terceirizada TÜV SÜD subcontratou os serviços de perfuração à empresa Alphageos Tecnologia Aplicada S.A. Dos 29 DHP previstos, somente 14 foram executados, de acordo com a Alphageos. Contudo na figura 34 é possível observar a posição de 13 DHP.

Figura 34: Croqui com os 29 DHP que seriam instalados na B I. Obs.: em laranja, DHP instalado; em verde, DHP a instalar



Fonte: Revisão periódica de segurança da B I, TÜV SÜD, Apêndice "F", pág. 256

Em depoimento à fiscalização do trabalho em 03/04/2019, o Sr. Marcionete Rodrigues, Encarregado de Sondagem da empresa Alphageos, disse que três DHP executados não apresentaram vazão de água. De acordo com o trabalhador, em algumas perfurações encontrava-se uma camada muito resistente para o avanço do furo, cerca de 25 metros do local onde encontrava-se a perfuratriz. Segundo ele, não existia local pré-definido pela Vale para executar os furos. Um funcionário da Vale, Eng. Ailton Martins, é quem indicava as bermas e a posição do furo a ser executado. Já no final dos trabalhos, foi executado um furo no pé da barragem, mais perto da ombreira esquerda. Após este, iniciou a execução do 15º furo (segundo a numeração adotada pelo Sr. Marcionete), mais perto da ombreira direita. Em

11/06/2018, após a perfuração atingir cerca de 61 metros, encontrou uma camada de argila e decidiu avançar. Decorrido algum tempo nesta profundidade, verificou-se que a água injetada no furo começou a sair em um local mais alto e ao centro na barragem, perto de uma descida d'água no dique inicial. O pessoal da Vale pediu então para que ele parasse a execução do furo.

No Relatório de Inspeção de Segurança Regular da B I de setembro de 2018, elaborado pela TÜV SÜD, foi informado com detalhes a execução destes DHP :

Verificou-se em campo a recente instalação de novos DHP na barragem, principalmente na berma de recuo principal na El. 899 m (Foto 33), mas também um na El. 890 m próximo à ombreira esquerda (Foto 34), um na El. 916 m próximo à ombreira direita (Foto 35), e um no pé da barragem próximo à ombreira direita (Foto 36).

A metodologia executada dos drenos foi sendo alterada a cada novo DHP, com o intuito de aprimorar seu desempenho. Apenas o dreno da El. 890 m e alguns daqueles da berma de recuo apresentaram saída d'água, estando os demais secos.

Segundo a equipe de operação, **durante a execução do último DHP** (no pé da barragem próximo à ombreira direita), **notou-se surgência d'água** coletada por uma descida hidráulica localizada próxima ao local de execução do DHP. Após ser interrompida a perfuração, a surgência cessou. Acredita-se que tenha ocorrido percolação por caminho preferencial (fraturamento hidráulico do maciço), **devido à injeção d'água sob pressão elevada realizada para viabilizar a perfuração**. Desde então, a execução dos DHP restantes está paralisada. (grifos nosso)

Conforme pode-se perceber da leitura do RISR, a metodologia executada dos DHP foi se alterando à medida que eles foram sendo executados, ou seja, ao contrário do que havia sido alegado pela Vale, aparentemente ela não possuía conhecimento sobre o modo de execução de DHP da profundidade projetada.

Em depoimento à Auditoria Fiscal do Trabalho em 08/02/2019, a Engenheira Geotécnica da Vale, Cris na Heloíza da Silva Malheiros, informou que a água injetada para a perfuração do 15º DHP, executado pela empresa Alphageos em 11 de junho de 2018, surgiu no fundo de uma canaleta próxima (figura 35). Identificada tal situação, a execução do furo foi paralisada e posteriormente recuperada a canaleta. A partir deste evento não mais foram executados os DHP.

Figura 35: Canaleta em degrau onde ocorreu a surgência de água quando da perfuração de 15º DHP



Fonte: RISR de setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 120

Declarou ainda a Engenheira Cris na Malheiros que deveriam ter sido executados 30 DHP, contudo, em decorrência do evento supracitado, apenas 14 foram concluídos.

A Vale apresentou à Auditoria Fiscal do Trabalho uma planilha informando a localização de 14 DHP, sendo nela informado que dois DHP, "Saída 01" e "Saída 02", apresentaram surgências (quadro 6). Conforme "*as built*" dos DHP apresentado pela Vale, a perfuração destes drenos ocorreu entre 22/02/2018 e 17/05/2018.

Quadro 6: Cadastro DHP Barragem I-CFJ (DATUM: SAD69)

DHP	LESTE	NORTE	COTA	OBSERVAÇÃO
DHP 15	591767.640	7775045.784	882,426	
Saída 1	591788.004	7775034.422	880.261	Surgência
Saída 2	591785.355	7775033.701	879.163	Surgência
D8B	591765.499	7775049.252	873.495	
D8	591764.706	7775073.590	875.270	
DHP05	591932.155	7774846.952	880.046	
DHP14	591945.063	7774955.847	899.276	
DHP11	591932.997	7774972.628	898.806	
DHP07	591924.451	7774992.062	899.159	
DHP13	591917.837	7775003.084	899.064	
DHP03	591907.326	7775022.871	898.976	
DHP02	591891.954	7775048.575	898.493	
DHP12	591882.787	7775065.704	898.550	
DHP01	591868.708	7775089.802	898.572	

Fonte: Vale

Por fim, a Eng.^a Cris na Malheiros informou à fiscalização do trabalho que estes DHP, instalados durante o ano de 2018, foram os únicos executados na B I. A menção a DHP nos RISR

de 2017 e de março de 2018, ambos elaborados pela empresa Tractebel, está equivocada. Na verdade, estes documentos referem-se a tubos de PVC ligados à drenagem interna de diques situados acima da El. 898,00m e que lançavam a água drenada em canaletas de super cie. Contudo, a MDGeo, em julho de 2017, no documento “Modelo de fluxo de água subterrânea na barragem I de rejeitos da Mina Córrego do Feijão e proposta de projeto do sistema de desaguamento do reservatório, Brumadinho - MG”, pág. 34, informou que já haviam sido instalados 53 DHP de janeiro de 2005 a janeiro de 2017.

Já em depoimento à Polícia Federal, em 31/01/2019, a Eng^a Cris na Malheiros informou que, após o incidente, foi formada uma comissão informal, da qual ela participou, com Técnicos da Vale (Ricardo Leão, César Grandchamp, Andréa Dornas, Marilene Lopes e Alano Teixeira), da TÜV SÜD e os Engenheiros Paulo Abrão e Armando Mangolin.

Outros empregados da Vale, em depoimento à Polícia Federal, declararam que veram conhecimento do fraturamento hidráulico.

Em 06/02/2019, o Eng. Alexandre de Paula Campanha, Gerente Executivo de Governança de Geotecnia Corporativa, declarou à Polícia Federal ter conhecimento do evento através da Engenheira Marilene Lopes, Gerente de Área de Gestão de Riscos Geotécnicos, pois havia necessidade de autorização dele para a contratação do Engenheiro Paulo Abrão, que atuou como consultor neste caso. O Sr. Alexandre declarou depois que teve ciência que a solução alternativa encontrada para o rebaixamento do lençol freático da B I teria sido a perfuração de poços profundos verticais.

O Eng. César Augusto Paulino Grandchamp, Gerente de Geotecnia até meados de 2017 do Setor de Mineração do Sistema Sul, inclusive da Mina do Córrego do Feijão, declarou à Polícia Federal, em 31/01/2019, que até meados de junho de 2018 estavam sendo executados os DHP. Após a execução de 14 drenos, durante a perfuração do 15º, observou-se que a água inserida no furo no pé da barragem não retornou, ocasionando aumento de pressão na estrutura, o que poderia causar uma erosão no caminho percorrido pela água. Que houve a necessidade de colocação de cerca de 60 sacos de areia no local de saída d'água na B I **e que houve dúvida quanto à ocorrência de um *piping* ou de um fraturamento hidráulico.**

Declarou também o Eng. César Grandchamp que, em razão do evento, foi criada uma comissão de avaliação de incidentes informal, formada por técnicos da Vale e da TÜV SÜD, com a participação de dois consultores externos, Eng. Paulo Abrão, da Geoconsultoria, e Eng. Armando Mangolin. Informou que tal comissão, após algumas deliberações, entendeu por bem utilizar a técnica de DHP somente alguns níveis acima do pé da barragem. Mas ele (César), que possuía a palavra final sobre o que fazer, como medida de precaução, entendeu por bem não executar mais os DHP e pediu à empresa TÜV SÜD apresentação de alternativas para a drenagem.

O Engenheiro de Minas, Joaquim Pedro de Toledo, Gerente Executivo de Planejamento e Programação do Corredor Sudeste, em 6 de fevereiro de 2019, declarou à Polícia Federal que em 2018 fez um único "report" ao Diretor de Operações do Corredor Sudeste, Sr. Silmar Magalhães Silva, sobre o incidente envolvendo o DHP. Que em razão do evento, os Engs. da Vale César Grandchamp e Renzo Albieri reuniram-se, na própria B I, com os engenheiros Paulo Abrão e Armando Mangolin Filho, consultores contratados pela Vale. Por fonconferência, o Eng. Paulo Abrão disse-lhe que a técnica de instalação dos DHP estava correta, **que o incidente**

era previsto e que também já havia previsão da medida saneadora. O Eng.º Joaquim Toledo informou também que não viu eventual ata ou relatório formal tratando do assunto.

O Eng.º Silmar Magalhães Silva, Diretor do Corredor Sudeste, em depoimento à Comissão Especial de Inves gação da Assembléia Legisla va de Minas Gerais, no dia 04/07/2019, confirmou que havia recebido relatório de Joaquim Pedro de Toledo, Gerente Execu vo do Planejamento, Programação e Gestão do Corredor Sudeste, sobre o fraturamento hidráulico. Declarou que esteve na Mina do Córrego do Feijão por duas vezes, sendo que em uma, julho ou agosto de 2018, visitou a B I. A visita, portanto, ocorreu após o fraturamento hidráulico.

Lúcio Flávio Cavalli, Diretor de Planejamento e Desenvolvimento de Ferrosos e Carvão, em depoimento à Comissão Especial de Inves gação da Assembléia Legisla va de Minas Gerais, no dia 04/07/2019, informou que havia recebido relatório do Sr. Alexandre de Paula Campanha, Gerente Execu vo de Governança em Geotecnica e Fechamento de Mina, informações sobre o fraturamento hidráulico ocorrido em 11/06/2018 na B I.

O Eng.º Makoto Namba, Coordenador de Projetos da TÜV SÜD, em depoimento à Polícia Federal em 01/02/2019, declarou que tomou conhecimento da ocorrência na B I e que esta provocou o que se chama de fraturamento hidráulico, que consiste no desvio da água u lizada para perfuração em direção ao talude de jusante, atravessando todo o rejeito ou o aterro durante o percurso. Que teve conhecimento que houve uma pequena erosão durante esta ocorrência e que teve acesso a uma apresentação em "powerpoint" que apresentava fotos do incidente e as medidas realizadas para correção do problema.

O Eng.º Makoto Namba informou à Auditoria Fiscal do Trabalho, em 13/03/2019, que havia a montante do dique de par da uma camada de enrocamento, provavelmente bloco de canga, que impediu que a perfuração do DHP avançasse naquele local. Como foi aumentada a pressão da água u lizada durante a perfuração do DHP para vencer a camada de enrocamento, a água procurou um local para saída e acabou surgindo alguns metros acima do local onde estava a perfuratriz.

Analisando arquivo eletrônico apresentado pela TÜV SÜD à fiscalização do trabalho, nomeado "Decommissioning B I Dam", com 67 slides, iden ficou-se o slide 14, que representa com clareza o DHP sendo executado no pé da barragem e a surgência junto à canaleta, poucos metros acima do local da perfuração, conforme figura 36.

Figura 36: Vista do local de execução do DHP no pé da B I que resultou em fraturamento hidráulico



Resurgence



Fonte: Slide 14, Decommissioning B I Dam, Vale, PIESEM, outubro de 2018

Já o slide 15 do citado arquivo (figura 37) apresenta escavação realizada junto à canaleta onde ocorreu a surgência após a paralisação da execução do 15º DHP.

Figura 37: Vista de escavação realizada junto à canaleta onde ocorreu o fraturamento hidráulico em junho de 2018



Fonte: Slide 15, Decommissioning B I Dam, Vale, PIESEM, outubro de 2018

Os serviços de recuperação do local onde ocorreu a fratura hidráulica foram realizados pela empresa Reframax Engenharia Ltda. Em 21/03/2019, o Sr. Antônio França Silva, Ajudante

da Reframax, declarou à Auditoria Fiscal do Trabalho que participaram dos serviços aproximadamente 10 empregados da empresa, cinco Ajudantes e cinco Pedreiros. Que o local da surgência estava aproximadamente 10 m de desnível em relação à base da barragem. Que inicialmente foram regrados vários sacos com areia que haviam sido depositados pela Vale no local. Depois foi realizada uma escavação com profundidade entre 1,5 m a 2,0 m com cavadeira manual (boca de lobo).

Segundo o trabalhador, o solo estava muito encharcado. À medida que era escavado, o solo era levado em carrinhos de mão para o pé da barragem. Após a regradagem de todo o solo encharcado, foi colocada uma manta de "Bidim" (geotex I) junto ao fundo e às paredes da vala. Foi então transportada, com auxílio de carrinhos de mão, areia lavada da base da barragem até próximo da escavação e lançada na mesma. O mesmo ocorreu com a brita 1, que foi lançada em cima da areia. Lançado todo o material, a manta de "Bidim" foi virada sobre a escavação. Segundo o Sr. Antônio, estes serviços duraram cerca de 4 dias e contou também com a participação de trabalhadores da Vale. Passados alguns dias, retornaram ao local para fazer um tamponamento, com massa de cimento e areia, das trincas que haviam ocorrido na canaleta drenante, tanto na base como nas paredes da mesma. Depois plantaram grama sobre a região que havia sido escavada anteriormente.

Imagens cedidas pela Reframax confirmam o depoimento do Sr. Antônio, conforme figura 38, figura 39 e figura 40.

Figura 38: Serviço de regradagem de solo escavado do local onde ocorreu a fratura hidráulica



Fonte: Memórias de cálculo da Reframax, junho de 2018

Figura 39: Transporte de brita 1 para o local onde ocorreu a fratura hidráulica



Fonte: Memórias de cálculo da Reframax, junho de 2018

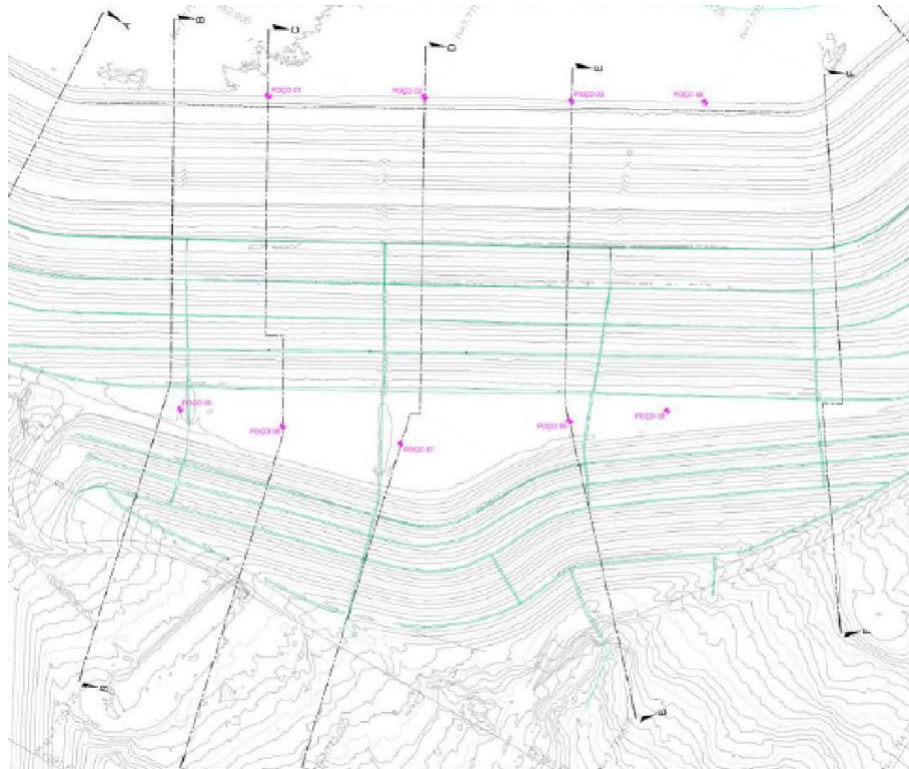
Figura 40: Tamponamento com massa de cimento e areia das trincas que surgiram na canaleta em degraus após o fraturamento hidráulico



Fonte: Memórias de cálculo da Reframax, junho de 2018

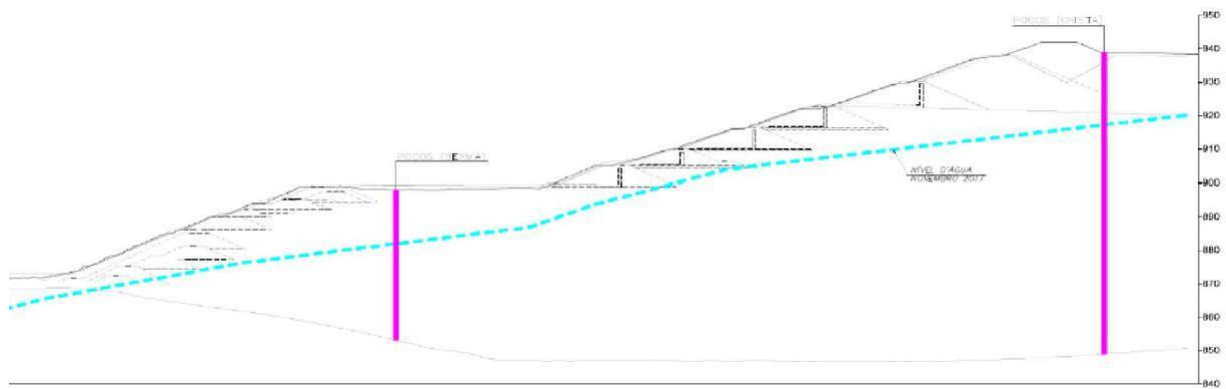
A RPS 2018 da B I, elaborada pela TÜV SÜD, informa que estava prevista também a execução de poços de rebaixamento, no caso de constatação de ineficiência dos DHP. Seriam instalados 9 poços de rebaixamento do nível d'água, conforme figura 41 e figura 42.

Figura 41: Croqui de localização dos poços de rebaixamento planejados para a B I



Fonte: RPS da B I, elaborado por TÜV SÜD, pág. 258

Figura 42: Seção transversal com a localização dos poços de rebaixamento planejados



Fonte: RPS da B I, elaborado por TÜV SÜD, pág. 298

O Eng.º Makoto Namba, Coordenador de Projetos da TÜV SÜD, em depoimento à Polícia Federal em 01/02/2019, informou que após o incidente com o DHP em junho de 2018, apresentou como alternativa ao Eng.º da Vale, César Grandchamp, a instalação de drenos menos profundos e mais finos, o que acarretaria menos pressão de água para a execução dos furos. Após a recusa do Eng.º César, foi-lhe solicitado a apresentação de novas soluções. No final de setembro (início de outubro) de 2018, a TÜV SÜD apresentou como solução a instalação de poços de rebaixamento verticais e que, no final de outubro (início de novembro), já foi apresentado à Vale o projeto de tais poços.

O Eng.º Civil Marcelo Santos, da Alphageos, informou, em 03/04/2019 à fiscalização do trabalho, que a empresa tinha dois contratos para execução de serviços dentro da Vale: um contrato para instalação de DHP e outro para o As Is de todas as barragens, junto com a TÜV SÜD.

Quanto ao primeiro contrato, a Alphageos iniciou a instalação de DHP na B I em abril de 2018. Não foi fornecido pela Vale o projeto de instalação dos DHP. O Engenheiro Ailton Martins, da Vale, é quem determinava o local e a profundidade dos DHP conforme as condições encontradas em campo.

A Vale colocou como condição de contrato que os DHP teriam que atingir 120 metros de extensão. O Engenheiro Marcelo Santos informou ter dito à Vale que o atendimento a esta condição (de 120 metros) dependeria das condições de campo e que, pela sua experiência, nunca conseguiriam fazer tais perfurações. Em todos os furos encontraram, a cerca de 20/25 metros de profundidade, uma camada de enrocamento que dificultava a introdução da ferramenta e em torno desta profundidade já saía uma quantidade significativa de água limpa pelo furo. Após 25 metros, a ferramenta já entrava no rejeito e os trabalhadores tinham dificuldade de instalar os drenos pois o furo colapsava, visto que o rejeito era muito fino e pesado. Tiveram que desenvolver uma espécie de válvula que ficava perdida no furo para evitar a perda do dreno.

Segundo o Engenheiro Marcelo, o fato seria uma profundidade dos furos entre 45 e 50 metros mas, mesmo assim, chegaram a alcançar 82 metros. Segundo Marcelo, a freática estava em torno de 25 metros a montante das paredes dos diques e com a perfuração e instalação dos drenos ela era levada para trás, distanciando-se do barramento. Relatou que houve dificuldades nas perfurações dos DHP e chegaram a perder uma ferramenta. Informou

ainda que durante uma das perfurações com aplicação de água sob pressão a face à jusante encharcou em volta do tubo. Explicou que na perfuração horizontal são injetados cerca de quarenta litros de água por minuto. No talude a perfuração avançava relativamente rápido, cerca de três metros por minuto e no enrocamento a perfuração era bem mais lenta, avançando um metro em quarenta minutos.

Segundo Marcionete Rodrigues, Encarregado de Perfuração da AlphaGeos, foram instalados inicialmente três DHP na altura do 8º. alteamento e estes não apresentaram água. Depois instalaram oito DHP na área do recuo da B I (El. 898m) onde surgiu água. Então a Vale solicitou que fossem mais para acima da área do recuo, onde instalaram três DHP que também ficaram secos. De acordo com Marcionete, voltaram para a área do recuo do barramento onde instalaram mais dois DHP. Depois desceram para a base da barragem. O primeiro DHP instalado na base da barragem não deu problema. Em junho de 2018, durante a instalação de outro DHP (o 15º.) ocorreu um problema com surgimento de água no talude há mais ou menos 25 metros de distância, subindo em direção à próxima berma, junto a uma canaleta. A Engenheira Cris na Malheiros e o Engenheiro César Grandchamp, ambos da Vale, foram até ao local e decidiram paralisar a perfuração dos DHP. Acrescentou que os números dados aos DHP pela Vale eram diferentes dos números de campo.

O Eng.º César Grandchamp, declarou à Polícia Federal, em 31/01/2019, que chegou a receber 7 propostas com diferentes tecnologias para a realização da drenagem vertical e que estas só chegaram às suas mãos no início de 2019, não tendo sido definida, até o rompimento da B I, a tecnologia a ser adotada.

Em resumo, apesar de ter sido sugerido à Vale a execução de poços de rebaixamento na B I desde de julho de 2017, a empresa optou pela execução dos DHP, mesmo em número menor que aquele sugerido em março de 2018. Quando menos da metade dos DHP planejados pela Vale foram executados, a solução foi abortada em junho de 2018 em razão de fratura hidráulica ocorrida em 11/06/2018 no dique inicial da B I. Os Gerentes e Diretores Regionais da Vale tiveram conhecimento da fratura hidráulica e da paralisação dos serviços. Contudo, nenhuma outra solução foi efetivamente implementada pela empresa até janeiro de 2019 para rebaixamento da linha freática na B I, o que contribuiu para manter elevado o nível d'água dentro da mesma.

2.2. Drenagem interna

Conforme explicitado no Relatório de Inspeção de Segurança Regular de 2015 da B I (RISR de 2015 da B I), elaborado por Pimenta de Ávila (pág. 6), não havia sistema de drenagem interna no dique de par da:

Segundo o Projeto Executivo – Alteamentos até as cotas 937 e 942 (VL28-RT-03), elaborado pela Geoconsultoria em dezembro de 2006, o dique inicial da "B I" foi executado com minério fino (material drenante) e revestido por uma camada de laterita com 4,0 m de espessura no talude de montante.

Em seguida, foram executados alteamentos menores para montante com rejeito compactado e recobertos com uma camada de laterita de 1,5 m de espessura

para evitar processos erosivos de águas pluviais. Para os diques construídos na segunda e quarta etapas, foram projetados tapetes drenantes construídos por hema nha. Após a conclusão do 2º dique, ocorreram surgências d'água na base da barragem, explicadas pela ausência de sistema de drenagem interna no maciço da primeira etapa.

Ainda segundo o RISR de 2015 da B I:

O sistema de drenagem interna dos diques construídos a par r do 4º alteamento é composto por filtro ver cal associado a tapete drenante lançado diretamente sobre a praia de rejeito. Na extremidade de jusante, o tapete está conectado a uma trincheira drenante. No fundo da trincheira existem tubos PVC perfurados e posicionados longitudinalmente, com saída a cada 20,00 m, os quais conduzem a água para as canaletas de super cie.

Já o Relatório de Inspeção de Segurança Regular de 2016 da B I (RISR de 2016 da B I), pág. 4, elaborado por Geoconsultoria, explica que para o 2º e 4º diques foram projetados tapetes drenantes, construídos por hema nha. Sabe-se que um destes tapetes estendeu-se até o talude de montante. Já no próximo parágrafo, descreve o relatório:

A par r de 1983, houve necessidade de aumentar a altura dos alteamentos de 3m para 5m. Na 4ª etapa (4º dique), optou-se por um alteamento por linha de centro, com envelopamento da barragem inicial e dos dois primeiros alteamentos. Em razão disto, e de acordo com o desenho abaixo, **os drenos do 2º e 4º diques foram selados.**(grifo nosso)

Segundo registros de obra, **não foi instalado tapete drenante na 6ª etapa, correspondendo à cota 891,50 m.**

O RISR de 2017 da B I (pág. 8), elaborado pela Tractebel, relata que “uma imagem encontrada em arquivos de referência (Seção dos Alteamentos elaborado pela Tecnosan, fevereiro de 1981) **não apresenta no dique inicial um sistema de drenagem interna.** Os alteamentos seguintes apresentam tapete de areia grossa com 1,0 m de espessura, em elevações alternadas, possuindo tal tapete as elevações 881 e 886” (grifo nosso).

Verifica-se no RISR de março de 2018, também elaborado por Tractebel (pág. 9), “**que o sistema de drenagem interna dos diques, construídos a par r da El. 898,00 m,** é composto por filtro ver cal associado a tapete drenante lançado diretamente sobre a praia de rejeito. Na extremidade de jusante, o tapete está conectado a uma trincheira drenante. No fundo da trincheira existem tubos PVC perfurados e posicionados longitudinalmente, com saída a cada 20,00 m, os quais conduzem a água para as canaletas de super cie. Esse sistema vai até a El. 929,50 m. Os alteamentos para as El. 937,00 m e 942,00 m contam apenas com tapete de areia” (grifo nosso).

Este mesmo relatório (pág. 17) informa que, “de acordo com documentos de projeto, **o dique inicial e os alteamentos iniciais foram executados sem sistema de drenagem interna**” (grifo nosso).

No RISR de setembro de 2018, elaborado pela TÜV SÜD, são demonstrados vários problemas com a drenagem interna da B I, conforme figura 43, figura 44 e figura 45.

Figura 43: Tubo para saída de drenagem interna exposto e danificado na B I



Fonte: RISR de setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 116

Figura 44: Tubo para saída de drenagem interna exposto e danificado na B I



Fonte: RISR de setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 116

Figura 45: Saída de drenagem interna com colóide na B I



Fonte: RISR de setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 117

A RPS 2018 da B I (4ª revisão) informa na pág. 78:

Na área do talude de jusante, delimitada entre a crista e a berma na El. 899m, foram encontradas trincas nos dispositivos de drenagem e um pequeno foco erosivo. Os pontos de atenção encontrados foram:

- PT 1 a PT 4: trincas persistentes encontradas nas canaletas da região do maciço próximo a ombreira esquerda. Nesta região as trincas são comuns nas bermas de El. 929,5, 922,5, 916,5 e 910m;
- PT 5: pequeno foco erosivo na El. 922,5;
- PT 6: canal trincado na El. 905m.

Na área da berma na El. 899, **começa a ser ní da a posição elevada no nível de água**. Isso porque são comuns nesta região a **ocorrência de surgências** e saída de água pelas tubulações da drenagem interna. Também foram encontrados canais trincados e solapados, além da presença de colóide férrico na saída da drenagem interna.(grifos nossos)

O RISR de setembro de 2018 da B I apresenta a seguinte informação: "Notou-se que nem todos os drenos apresentavam sifão para evitar a entrada de ar e assim, evitar sua colmatação. Em outros, por mais que o sifão estivesse presente, estava posicionado invertido, não desempenhando a função de projeto". A figura 46 demonstra a situação apontada no relatório em relação a um dos DHP.

Figura 46: Um dos novos DHP instalados na B I sem a presença de sifão para evitar a entrada de ar



Fo

nte: RISR de setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 117

Conforme citado, os DHP foram instalados em quase sua totalidade na El. 899 m, berma do recuo da B I, um na El. 916 m, um na El. 890,00 m, e um no pé da barragem próximo à ombreira direita.

Foi apontado no RISR de setembro de 2018 que um dos DHP apresentou saída d'água com presença de colóide (figura 47).

Figura 47: Saída de DHP com presença de colóide na B I



Fonte: RISR de setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 118

2.3. Saída de água a jusante

As empresas responsáveis pelas inspeções na B I relataram que existe um fluxo de água no pé da barragem. A empresa Pimenta de Ávila, quando da elaboração do RISR de 2015 (pág. 16), informa que (ver figura 48):

A região da grota abaixo do acesso foi inspecionada, tendo-se observado a presença de blocos de grandes dimensões no fundo da grota e de um pequeno fluxo de água. Segundo “Avaliação de Performance – Parecer Técnico” (BCV-B-B1-RE-001-B), a barragem apresenta enrocamento de pé. Entretanto, em virtude da ausência de informações a respeito da drenagem interna das fases iniciais (dique de par da e primeiras etapas) de construção da estrutura não é possível afirmar ser este o ponto de descarga da drenagem interna.

Figura 48: Detalhe de saída de água sob os blocos de canga, pé do dique inicial da B I



Fonte: RISR de 2015 da B I, Pimenta de Ávila, pág. 35

O RISR de setembro de 2018 da B I, elaborado pela empresa TÜV SÜD, informa que “a jusante do pé da barragem, encontra-se um talvegue que provavelmente se refere ao antigo curso d’água natural. Nesta região encontram-se blocos de canga, sendo o terreno alagadiço quanto mais a jusante, em direção ao medidor de vazão instalado. Junto à estrada de acesso à ombreira esquerda, foi notada a presença de um grande bloco rochoso com uma de suas faces verticais exposta, não sendo possível concluir sobre sua estabilidade visualmente em campo”, conforme figura 49.

Figura 49: Vista da face exposta do grande bloco de canga existente à jusante do dique inicial da B I



Fonte: RISR de setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 116

Quanto à ação recomendada pela TÜV SÜD, no RISR de setembro de 2018, de controlar fluxo na região alagadiça a jusante da barragem, inclusive com drenos po espinha de peixe se necessário, foi requerido pela Auditoria Fiscal do Trabalho à Vale a comprovação da implantação da citada recomendação, porém a empresa não apresentou documentos comprobatórios.

Os vários relatórios produzidos desde 2015 apontam que apenas a par r do 4º alteamento (cota de pé igual a 898,00m) é que se nha convicção da existência de drenagem interna na B I. Não é admissível a construção de uma barragem sem sistema de drenagem interna nos seus diques inferiores. Apesar da Vale ter adquirido a Mina do Córrego do Feijão em 2001, caberia a mesma executar ações de forma a manter a segurança da barragem durante toda a sua existência.

Quanto aos DHP, pode-se concluir que esta solução de drenagem não alcançou o resultado esperado, pois não foram executados em sua totalidade (apenas 14 foram instalados). Destes, pra camente todos o foram na região acima do recuo do barramento (11 dos 14), onde já havia drenagem interna. Além disso, alguns DHP eram desprovidos de sifão (que evitaria a entrada de ar). Quando da perfuração do 15º DHP, ocorreu ainda fraturamento hidráulico no dique inicial. Não foram instalados os poços de rebaixamento do lençol freá co planejados se constatada a ineficiência dos DHP.

O sistema de drenagem interna existente apresentou problemas quanto a sua manutenção, ano após ano. Verificou-se em alguns pontos a saída de colóide, isto é, água misturada com par culas de solo, para fora da barragem, potencialmente fragilizando sua estrutura.

2.4. Drenagem superficial

O sistema de drenagem superficial da B I era composto por canaletas de concreto implantadas ao longo das bermas e escadas de descidas d'água. As descidas (quatro no total), foram construídas em concreto estrutural, com dimensões de 0,50 m de largura e 0,85 m de altura, coletavam a água das canaletas direcionando-as para o terreno natural, a jusante da barragem.

De acordo com RISR de 2015 da B I, elaborado por Pimenta de Ávila (pág. 13), foram identificadas, em diversos trechos, canaletas assoreadas (figura 50). Também identificado empocamento de água em canaleta, conforme figura 51. As canaletas trincadas observadas na auditoria de 2014 foram reparadas.

Figura 50: Canaleta de drenagem assoreada em uma das bermas da B I



Figura 51: Empocamento em canaleta de drenagem superficial da B I



Fonte: RISR de 2015 da B I, 2015, Pimenta de Ávila, Fonte: RISR de 2015 da B I, Pimenta de Ávila, pág. 33 pág. 33

Já o RISR de 2016 da B I, elaborado pela Geoconsultoria, informa à pág. 14 que havia água parada em algumas canaletas. Recomendou-se a execução de reparos nas mesmas ou reconformação da declividade. Quanto ao RISR de 2017, a empresa Tractebel descreve que, acima da berma de recuo, as canaletas estavam assoreadas (figura 52). Em alguns pontos foi observado acúmulo de água nas canaletas (pág. 17), duas bermas abaixo da berma de recuo, conforme figura 53.

Figura 52: Trecho assoreado em canaleta de drenagem superficial acima da bermã de recuo na B I



Fonte: RISR DE 2017 da B I, Tractebel, pág. 63

Figura 53: Trecho de canaleta de drenagem superficial da B I com acúmulo de água



Fonte: RISR DE 2017 da B I, Tractebel, pág. 63

O RISR de março de 2018 da B I, elaborado também pela empresa Tractebel, aponta à pág. 17, que as canaletas do sistema de drenagem veram vários pontos corrigidos desde a última inspeção de auditoria, porém alguns pontos ainda apresentam empoçamento e danos no concreto (figura 54, figura 55 e figura 56). Foi observada uma descida obstruída por sedimentos e trechos de canaleta obstruídos por brita e vegetação.

Figura 54: Canaletas de drenagem superficial na B I obstruídas por sedimentos



Fonte: RISR de março de 2018 da B I, Tractebel, pág. 64

Figura 55: Canaleta de drenagem superficial na B I com empoçamento de água devido a deficiência na inclinação das mesmas



Fonte: RISR de março de 2018 da B I, Tractebel, pág. 65

Figura 56: Canaleta de drenagem superficial na B I com danos no concreto



Fonte: RISR de março de 2018 da B I, Tractebel, pág. 65

O RISR de setembro de 2018 da B I, elaborado por TÜV SÜD, apresenta com detalhes inúmeras irregularidades no sistema de drenagem superficial, conforme figura 57, figura 58 e figura 59.

Figura 57: Dano estrutural em canaleta superficial da B I durante instalação de DHP



Fonte: RISR setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 119

Figura 58: Surgência com colóide em canal de drenagem na B I



Fonte: RISR setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 120

Figura 59: Trinca em canaleta superficial junto à ombreira esquerda da B I



Fonte: RISR setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 119

2.5. Desvio de água a montante do reservatório

Exis a uma contribuição de uma nascente de água localizada em terreno natural, a montante do reservatório, cerca de $1,17 \text{ m}^3/\text{h}$, conforme figura 60 e figura 61:

Figura 60: Vista da nascente de água a montante (fundo) do reservatório



Fonte: Relatório descriç o dos trabalhos de desvio de  gua do reserv rio da Barragem I - C/JF, por Cris na Malheiros, maio de 2018

Figura 61: Vista do lago formado a montante do reserv rio em virtude da contribui  o da nascente de  gua



Fonte: Relatório descri o dos trabalhos de desvio de  gua do reserv rio da Barragem I - C/JF, por Cris na Malheiros, maio de 2018, p g. 2

Segundo a Engenharia Geotécnica da Vale, Cris na Malheiros, foi instalada uma bomba e uma tubulação que conduziria a água do lago para torre 3 do sistema extravasor. A RPS 2018 da B I (4ª revisão) confirma tal instalação (figura 62).

Figura 62: Tubulação de captação da água do lago (ao fundo) até a torre 3 do sistema extravasor



Fonte: RPS 2018 da B I (4ª revisão), TÜV SÜD, pág. 175

O RISR de setembro de 2018 da B I, pág. 70, faz algumas recomendações quanto à captação de água no lago:

Ademais, observou-se o direcionamento da nascente diretamente para o extravasor. Entretanto, o sistema implantado apresenta capacidade limitada, não sendo capaz de controlar todo o aporte esperado durante o período chuvoso. Para este fim, recomenda-se a construção de um "sump" no trecho de montante do reservatório, o qual deverá direcionar por gravidade a água para o extravasor sem permitir empocamento.

Aguardando a execução desta estrutura, o sistema de bombeamento implantado deve ser avaliado para determinar sua capacidade. Em especial, deve-se verificar se é possível adequar a tubulação instalada, reduzindo a altura de recalque e aumentando a vazão.

Ainda sobre o sistema de bombeamento, é importante ressaltar a importância de realização de testes regulares e de garantir que a bomba reserva esteja instalada em paralelo e pronta para acionamento imediato em caso de evento extremo de precipitação.

Em 23/01/2019, dois dias antes do rompimento, a TÜV SÜD, na presença de Engenheiros da Vale, realizou inspeção de segurança a fim de elaborar o RISR de março de 2019. A ficha de inspeção de segurança regular de barragem informa, de acordo com a figura

63, que as recomendações da auditoria anterior para instalação de "sump" e "bomba reserva" ainda não haviam sido concluídas, com observação de "alterado".

Figura 63: Quadro de recomendações da auditoria anterior da B I

11) RECOMENDAÇÕES DA AUDITORIA ANTERIOR			
Recomendação	Prazo	Concluída?	Observações
Elaboração de plano geotécnico e estabilidade		☐ S ☒ N	Parcialmente
sump		☒ S ☐ N	
Bombeamento e tubulação		☐ S ☒ N	Alterado
Bomba reserva		☒ S ☐ N	
Assoreamento do reservatório		☐ S ☒ N	Alterado
Drenagem profunda		☒ S ☐ N	Reverenciado
Proteção DAPs		☒ S ☐ N	
Limpagem de colar		☒ S ☐ N	
Desassoreamento		☒ S ☐ N	Nover pontos
Dessecação superficial		☐ S ☒ N	Reaberto
Calentura superficial		☒ S ☐ N	
PZEs e encaixes		☐ S ☒ N	Parcialmente
Microclima		☐ S ☒ N	Reprogrameado
		☐ S ☐ N	

Fonte: Ficha de inspeção de segurança regular de barragem, pág. 3, 21/03/2019

O Eng.º Makoto Namba informou à Auditoria Fiscal do Trabalho, em 13/03/2019, que além da nascente de água acima mencionada, **deveriam existir outras fontes de água em outros pontos do reservatório, inclusive de fontes subterrâneas decorrentes de descon nuidades geológicas** (grifo nosso). Foram sugeridos estudos geológicos para verificar se haviam descon nuidades profundas que pudessem estar carreando água do lago para o fundo.

A fala do engenheiro é confirmada pela apresentação da Vale denominada "Decommissioning B I Dam", no slide 17 (figura 25), onde são apresentados os possíveis efeitos da geologia local nas condições limites de água subterrânea. Apesar de não citar números, aponta para a possível contribuição de água subterrânea na barragem.

Portanto, os diversos relatórios produzidos pelas empresas de auditoria desde 2015 apontam que a drenagem superficial da B I era muito mal man da pela empresa, com trincas, assoreamento e empoçamento de água. Os problemas eram recorrentes ano após ano. Toda água que empoça em uma canaleta ou canal, apresentando estes danos no concreto, penetra no barramento. Quando as estruturas citadas estão assoreadas, a água pode transbordar e também penetrar nos diques da barragem.

Não foi possível concluir quanto à real e fe va da água que se acumulava no fundo do reservatório advinda de uma nascente de água.

O que há de se estranhar é que, com exceção dos relatórios da TÜV SÜD de 2018, nenhum outro apontou para o acúmulo de água no fundo do reservatório decorrente da nascente de água ali existente. Com uma vazão de água de 1,17 m³/h, o reservatório recebia diariamente cerca de 28 mil litros por dia.

Apesar de terem sido instalado um pequeno dique metálico junto à nascente de água na parte posterior do reservatório e uma bomba d'água dentro do pequeno lago que se formava já dentro da bacia de rejeitos, não foi possível confirmar se havia sido construído o sump a jusante do pequeno dique metálico.

2.6. Sistema extravasor

Segundo o RISR de setembro de 2018 da B I, o sistema extravasor da barragem, conforme projeto executado desenvolvido pela Geoconsultoria em dezembro de 2006, teve seu padrão alterado em relação àquele até então utilizado para os alteamentos anteriores. Ele assim descrevia o sistema extravasor:

Composto por uma galeria de fundo, que passava sob a barragem na ombreira direita, conectando um conjunto de torres na encosta direita do reservatório, distantes da crista da barragem, que operavam com soleira variável, com “stop-logs”, e um canal a jusante para adução da água extravasada até a Barragem VI. Sendo assim, sumariamente, o sistema extravasor da B I era constituído por:

- 3 torres de seção retangular de 1,2 m de largura, 1,0 m de profundidade e 5 m de altura. As torres eram abertas em um dos lados, no qual são instalados os “stop-logs”.
- Galeria de fundo, com seção retangular, com 1,0 m de lado e 1,2 m de altura, com extensão de cerca de 310 m.
- Canal a céu aberto, de seção retangular, com 1,0 m de largura e 1,5 m de altura, com um trecho inicial com nuco e outro, final, em degraus, descarregando a vazão extravasada no reservatório da Barragem VI.

O trecho final do canal a céu aberto era remanescente do sistema extravasor do 8º alteamento, porém com uma modificação na ligação entre trechos (anteriormente havia uma caixa de passagem e, atualmente, há uma conexão direta).

As três torres foram construídas na encosta direita da barragem, distante da crista, estando a primeira imediatamente acima da galeria de fundo, e as demais acima da galeria de encosta. Apenas a segunda torre se encontrava em operação, dado que a primeira estava fechada e que o nível d’água não atingia a terceira.

De acordo com o “Manual de Operação da Barragem”, o sistema extravasor foi dimensionado de maneira que apenas 1 torre estivesse em funcionamento em condições normais de operação, com instalação de stop-logs com 0,25 m de altura dependendo do nível d’água do reservatório.

Informa o RISR de março de 2018 da B I, elaborado pela Tractebel, que para verificar as condições da galeria de fundo foi indicada na auditoria de 2017 uma inspeção remota. Esta foi realizada em novembro de 2017 pela empresa HGT com uso de um robô e indicou que **“a galeria apresentava-se bastante assoreada, com diversos trechos de dificuldade de transposição, não sendo possível finalizar os últimos 15 m da galeria.** A inspeção foi de jusante para montante, sendo percorridos 305m” (grifo nosso).

“Na posição de 290 m, foram observados pontos de infiltração no teto que necessitam de acompanhamento e conferência em próxima inspeção” (grifo nosso).

A figura 64 e a figura 65 representam bem o assoreamento da galeria de fundo.

Figura 64: Vista da parte interna da galeria de fundo da B I, com acúmulo de rejeito mineral na parte inferior



Fonte: Inspeção remota na galeria de fundo B I Feijão, HGT, 30/11/2017, pág. 20

Figura 65: Vista da parte interna da galeria de fundo da B I, com acúmulo de rejeito mineral na parte inferior



Fonte: Inspeção remota na galeria de fundo B I Feijão, HGT, 30/11/2017, pág. 18

De acordo com o RISR de setembro de 2018 da B I, verificou-se a necessidade de intervenção na saída do sistema extravasor (figura 66), pois este não somente se encontrava assoreado, mas também necessitando de manutenção em sua laje de fundo. Nesta laje, foi identificado o início de um processo erosivo no contato com o terreno natural, estando a porção mais a jusante em balanço. Por fim, ressaltou-se em tal documento, a necessidade de poda da bacia de dissipação para a Barragem VI (figura 67) uma vez que, devido à vegetação alta, não foi possível avaliar o po de revestimento existente.

Figura 66: Detalhe da saída do extravasor da B I, assoreada e com erosão abaixo da laje a jusante



Fonte: RISR de setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 122

Figura 67: Bacia de dissipação para a Barragem VI totalmente coberta de vegetação



Fonte: RISR de setembro de 2018 da B I, TÜV SÜD, pág. 122

Também em relação ao sistema extravasor nota-se a conservação precária das estruturas. A galeria de fundo estava muito assoreada e apresentava pontos de infiltração no teto. A laje de saída do sistema extravasor estava assoreada e com erosão a jusante. Por fim, a bacia de dissipação da B I para a B VI estava tomada pela vegetação.

Capítulo 3: O fator de segurança da estabilidade da Barragem I

3.1. Considerações iniciais

O estudo de estabilidade de uma barragem requer a determinação de Fatores de Segurança (FS) para as condições de solo drenado e não drenado.

A referência norma va para os valores do FS para a condição drenada é a Norma NBR 13.028/2016, que na Tabela 1 do item 5.4.10.1, denominado “Estabilidade Física”, define os diversos FS conforme as condições de operação da barragem, sendo que a referida tabela foi utilizada nos RISR da B I como parâmetro comparativo para os FS obtidos nos cálculos efetuados pelas empresas consultoras contratadas pela Vale.

Em relação aos valores do FS para a condição não drenada as empresas consultoras, assim como a Vale, adotaram a metodologia do pesquisador americano Sco Olson (2001)¹⁸ que determina o seguinte:

¹⁸ OLSON, S.M. (2001). Liquefaction analysis of level and sloping ground using field case histories and penetration resistance. Ph.D. thesis, University of Illinois at Urbana– Champaign, Urbana, Ill

1. Para o valor da resistência não drenada de pico, se o valor encontrado de FS for superior a 1,3 é considerado adequado;
2. Se encontrar-se entre 1,1 e 1,3, há possibilidade de ocorrer galhos que provoquem carregamentos não drenados e faz-se necessário verificar a estabilidade por parâmetros residuais:
 - 2.1. Nova análise é realizada e obtém-se coeficiente de segurança global (residual):
 - 2.1.1. Se resultar em FS acima de 1,1, o resultado é adequado;
 - 2.1.2. Se FS estiver entre 1 e 1,1, a estabilidade estaria garantida com deformações apreciáveis;
 - 2.1.3. Se o valor de FS estiver abaixo de 1,0, haveria necessidade de adoção de medidas corretivas.

Obviamente, para resultados com FS menores que 1,1 o barramento estaria em uma situação de instabilidade na ocorrência de um galho.

Inicialmente a Vale apresentou à Auditoria Fiscal do Trabalho os seguintes documentos relativos às condições de segurança da B I:

1. Carta de risco;
2. Relatórios de inspeções de segurança regular compreendendo o período de julho de 2015 a setembro de 2018;
3. Estudos de liquefação compreendendo os anos de 2015 a 2017;
4. Revisão periódica de segurança da barragem realizada em 2018.

No quadro 7 apresentamos os principais pontos abordados na definição dos FS da B I na condição drenada e não drenada conforme análise dos RISR emitidos pelas empresas consultoras e que foram a fonte de referência para a emissão das declarações de condição de estabilidade da B I.

Quadro 7: Relatórios de inspeção de segurança regular da B I emitidos de 2015 a 2018

Data	Empresa Consultora	Documento
31/08/2015	Pimenta De Ávila Consultoria Ltda.	Relatório De Inspeção De Segurança Regular / 2015 - (Documento Pimenta De Ávila - RD-639-RL-40142-01)
11/11/2016	Geoconsultoria	Relatório De Inspeção De Segurança Regular (Documento Geoconsultoria VL55-RT05)
13/09/2017	Tractebel	Relatório De Inspeção De Segurança Regular (Documento VALE.AT-LT-PFE-107-01.17)
29/03/2018	Tractebel	Relatório De Inspeção De Segurança Regular (Documento VALE.AT-LT-PFE-107-01.18)
03/09/2018	TÜV Süd	Relatório De Inspeção De Segurança Regular (Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18).

3.2. Análise dos relatórios de inspeção de segurança regular da B I

3.2.1. Documento Pimenta de Ávila - RD-639-RL-40142-01

Complexo Paraopeba – Mina Córrego do Feijão Barragem I - Relatório de Inspeção de Segurança Regular / 2015 - Laudo Técnico De Segurança De Barragem / 2015 (Revisão 1, 31/08/2015). Empresa Consultora: Pimenta De Ávila Consultoria Ltda.

A empresa consultora avaliou a estabilidade da B I conforme dados existentes no documento nº VL28-RT-03, Rev. 0 - Relatório Técnico - Barragem 1 - Alteamentos até as cotas 937 m e 942 m – Projeto Executivo, elaborado pela empresa Geoconsultoria, onde constam análises de estabilidade que consideram a geometria da barragem após o 9º e 10º alteamentos com uso do software SLIDE, sendo selecionada a seção 2 como a mais representativa da barragem.

Em relação aos parâmetros de resistência adotados foram utilizados valores empregados em análises de etapas anteriores, visto que os ensaios principalmente em rejeitos, limitados a uma profundidade máxima de 5,50 m, comprovaram a validade dos dados. A tabela 4 extraída do documento apresenta a síntese das análises de estabilidade.

Tabela 4: Síntese dos resultados das análises de estabilidade

Figura*	Cenários Avaliados	Crista (m)	Fator de Segurança	
			Global	Talude Inferior
Figura 7	Resistência drenada / Análise de percolação com base na instrumentação	930,00	2,11	1,88
Figura 8	Resistência drenada / NA tangenciando o pé do talude de montante	930,00	1,99	1,64
Figura 9	Resistência drenada / Praia com 110,0 m	937,00	1,97	1,86
Figura 10	Resistência drenada / Praia com 100,0 m	942,00	1,90	1,85
Figura 11	Resistência drenada / Praia com 50,0 m	942,00	1,86	1,84
Figura 12	Resistência não-drenada ¹ / Praia com 40,00 m	942,00	1,53	-
Figura 14	Resistência drenada / Taludes individuais do 6º, 7º e 8º alteamentos	-	1,79	-
Figura 16	Resistência drenada / Taludes individuais do 6º, 7º e 8º alteamentos / Resistência do aterro reduzida (deficiência de compactação)	-	1,61	-

Nota: “Relatório Técnico – Barragem 1 – Alteamentos até cotas 937 e 942 m – Projeto Executivo” (documento referência VL28-RT-03_Rev. 0).

Fonte: “COMPLEXO PARAPEBA – MINA CÓRREGO DO FEIJÃO BARRAGEM I RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR / 2015 LAUDO TÉCNICO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM / 2015 (Documento Pimenta de Ávila -RD-639-RL-40142-01, Revisão 1, de 31/08/2015, pág. 19)

O documento cita ainda duas ressalvas importantes, conforme figura 68:

Figura 68: Ressalvas do RISR 2015 da empresa Pimenta de Ávila Consultoria

Frente aos resultados e análises realizadas, algumas ressalvas fazem-se importantes:

- Na Figura 12 do documento VL28-RT-03 (Geoconsultoria) admitiu-se a possibilidade de ruptura não drenada em face da existência de uma camada contínua de rejeitos finos situada cerca de 2,0 a 4,0 m abaixo da berma da cota 898,0m e determinada através das sondagens e ensaios de campo;
- Nas Figuras 14 e 16 do documento VL28-RT-03 (Geoconsultoria), analisou-se a eventualidade de elevação exagerada do lençol freático no talude superior, decorrente da heterogeneidade dos rejeitos e do mau funcionamento do sistema de drenagem dos diques. Na Figura 16, considerou-se ainda a redução da resistência do aterro, por exemplo, por deficiência de compactação.

Fonte: “COMPLEXO PARAOPÉBA – MINA CÔRREGO DO FEIJÃO BARRAGEM I RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR / 2015 LAUDO TÉCNICO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM / 2015 (Documento Pimenta de Ávila -RD-639-RL-40142-01, Revisão 1, de 31/08/2015, pág. 19)

Apesar das ressalvas, o responsável técnico conclui pela estabilidade da B I, pois os FS encontrados atendem ao preconizado pela NBR 13.028/2006 ($FS > 1,5$).

Por fim, nas considerações finais, o responsável técnico determina a seguinte recomendação (pág. 20) “efetuar análise de liquefação baseada em nova campanha de investigação, coleta de amostras e informações representa vas dos rejeitos existentes na fundação dos alteamentos para montante.”

3.2.2. Documento Geoconsultoria VL55-RT05

**Auditoria / 2016 Comum / Geral Barragem B I Relatório Técnico Da Auditoria Extraordinária
Relatório De Inspeção De Segurança Regular (Revisão 2, 11/11/2016) Empresa Consultora:
Geoconsultoria**

A empresa consultora analisou a estabilidade da B I efetuando estudos para obtenção de FS para a condição drenada e não drenada.

Esclarece que os FS para a condição drenada e não drenada têm significados diferentes, pois para a condição drenada o FS representa realmente a condição estável ou instável da barragem, visto que representa a relação entre as forças resistentes e as forças atuantes no maciço em análise e somente depende das forças presentes no processo.

Já na condição não drenada, o resultado de uma análise com indicação do FS menor que o aceitável para a condição drenada ou mesmo menor que a unidade não significa por si só a ruptura, que neste caso dependeria de fatores externos. Estes fatores são denominados “ganhos” e podem ser, por exemplo: razão de alteamento elevada na construção da barragem, elevação da linha piezométrica, ruptura de algum talude individual ou composto, ruptura da encosta do reservatório e redução da resistência do material com a deformação (“*strain softening*”). Posteriormente, neste nosso relatório, iremos detalhar a análise dos possíveis ganhos para liquefação.

Em seguida, a empresa consultora realiza uma análise da estabilidade da B I para as condições drenada e não drenada de modo a obter o valor dos respectivos FS.

3.2.2.1. Fator de Segurança para a condição drenada

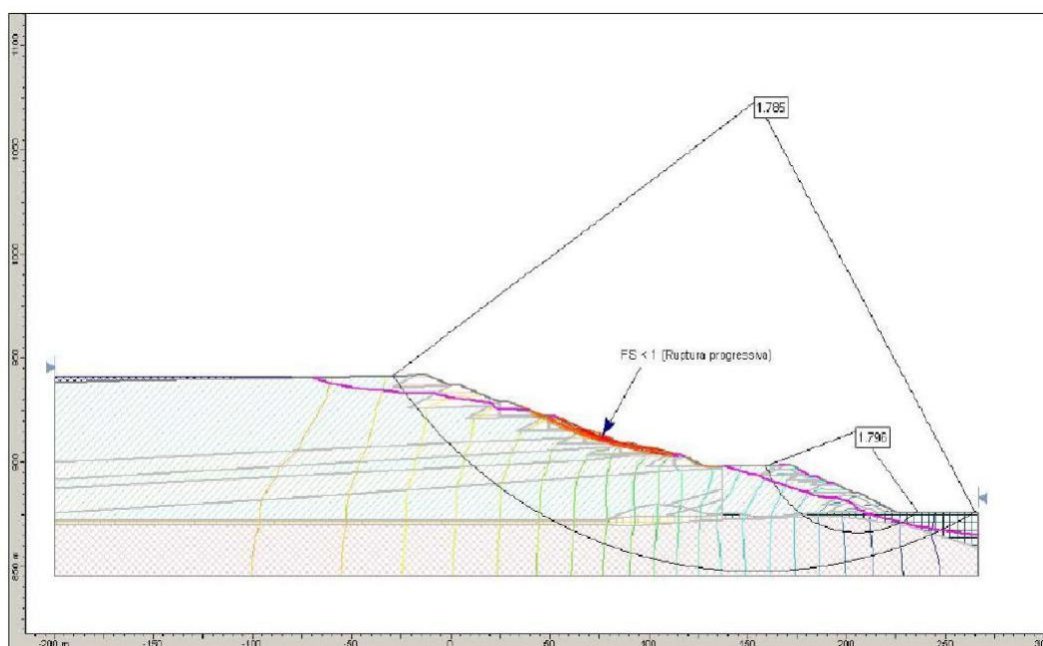
A condição drenada da B I foi analisada pela Geoconsultoria em 2006 à época dos projetos de alteamento da barragem. Em relação aos valores de parâmetros de resistência adotados utilizou-se aqueles das etapas anteriores visto que os ensaios executados comprovaram a validade dos dados. Foi selecionada a Seção 2 da barragem para a verificação da estabilidade por ser esta seção considerada representativa.

O cálculo do FS para a condição drenada valeu-se também dos seguintes parâmetros: geometria da barragem à época; formação de praia em relação à crista; situação de supressão da praia; posição do Nível de Água (NA) no reservatório e leitura dos piezômetros.

A empresa utilizou os parâmetros anteriormente descritos para realizar uma análise contemplando vários cenários sobre a segurança da barragem e obteve os valores dos FS conforme o Quadro sinóptico sobre os fatores de segurança da Barragem B I, citado neste relatório após a descrição dos RISR emitidos para B I (quadro 8).

O relatório é ilustrado com figuras referentes às análises efetuadas e há citação de uma provável ruptura progressiva local com $FS < 1$ em condição drenada, conforme demonstra a figura 69.

Figura 69: Análise da estabilidade da Seção 2, cota 942m, ruptura global e local, com redução da largura da praia para 50m. Obs: local sinalizado pela seta com provável ruptura progressiva com Fator de Segurança $FS < 1$



Fonte: Auditoria/2016 Comum / Geral Barragem B I Relatório Técnico da Auditoria Extraordinária Relatório de Inspeção de Segurança Regular (Documento Geoconsultoria VL55-RT05, Revisão 2, 11/11/2016, Pág. 23)

A Geoconsultoria ao final conclui que, quando se trata da largura de praia, a condição de segurança da barragem é satisfatória em condições drenadas, conforme consta nas páginas 23 e 31 do relatório, **porém é silente em relação à condição adversa de segurança que diz respeito ao local com provável ruptura progressiva na Seção 2 da barragem.**

3.2.2.2. Fator de Segurança para condição não drenada

Para a condição não drenada foram utilizados valores de ensaios em campo disponíveis na barragem (CPTu, SPT e Vane Tests) além de ensaios de laboratório (Compressões Triaxiais).

A figura 70 mostra a suscetibilidade dos rejeitos a comportamento não drenado e, de maneira geral, concluiu-se que os pontos estão abaixo ou próximos à curva limite, conferindo-lhes um comportamento não drenado e suscetível a liquefação.

Obteve-se uma média de envoltória de resistência não drenada $S_u/\sigma'_v = 0,36$ (figura 71), considerando-se os valores dos ensaios de CPTu, SPT, Vane Tests e Triaxial.

Figura 70: Suscetibilidade dos rejeitos. Ensaios CPTu (a) e NSPT (b)

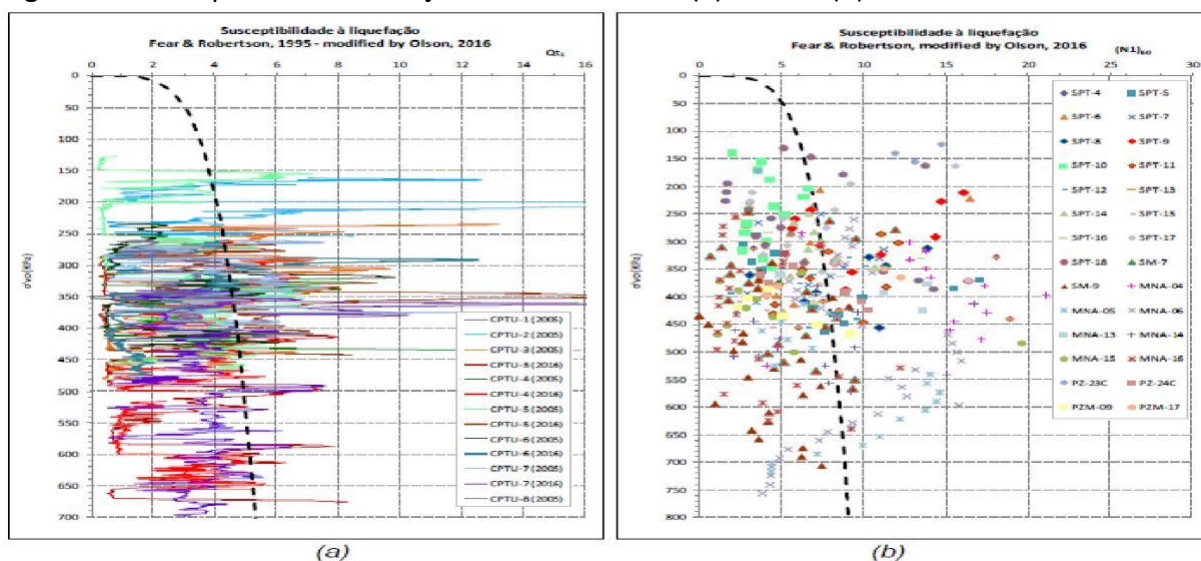
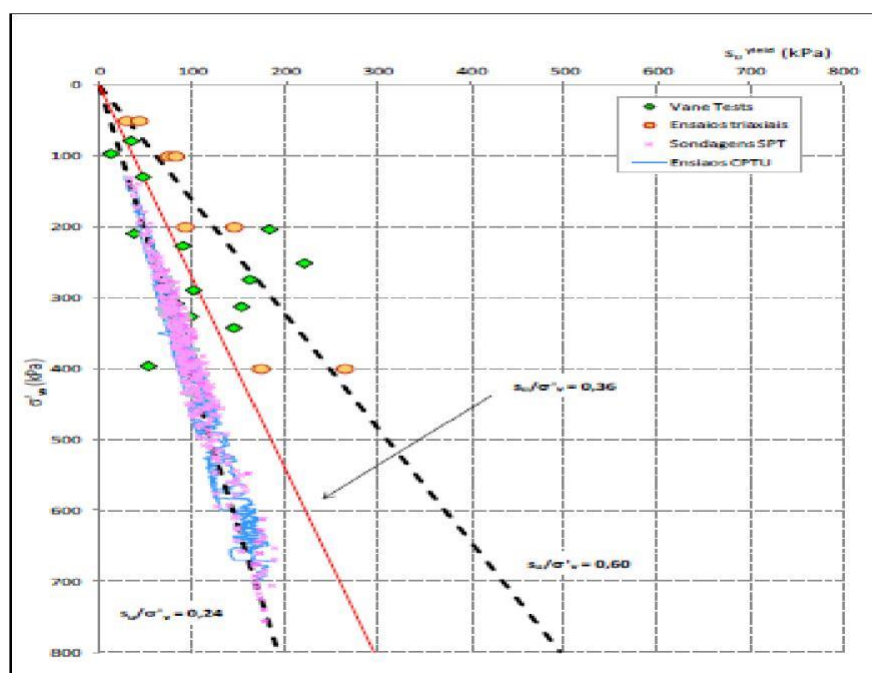


Figura 71: Envoltória de resistência não drenada

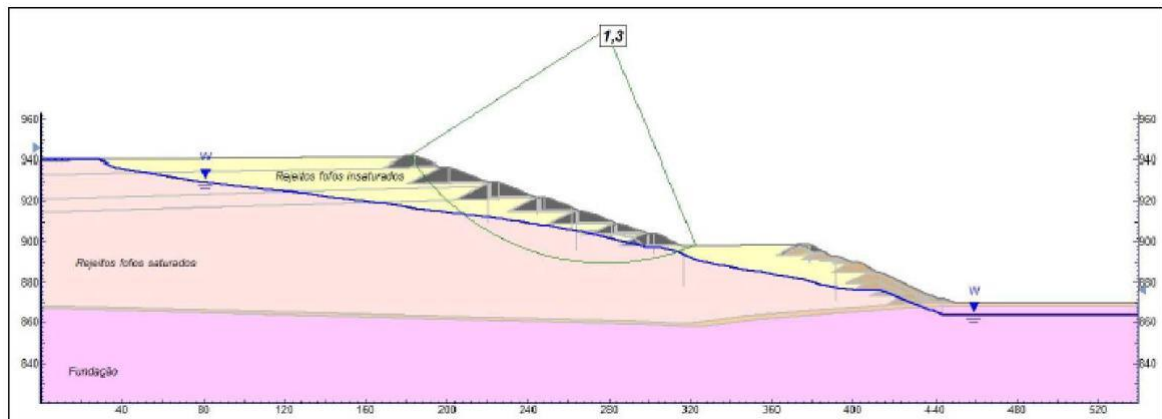


Fonte: Auditoria/2016 Comum / Geral Barragem B I Relatório Técnico da Auditoria Extraordinária Relatório de Inspeção de Segurança Regular (Documento Geoconsultoria VL55-RT05, Revisão 2, 11/11/2016, págs. 27-28)

O relatório menciona que o cálculo da envoltória de resistência não drenada baseou-se no critério do pesquisador americano Sco Olson (op. cit.). Para a análise da estabilidade da B I em comportamento não drenado adotou-se o método de Spencer e utilizou-se o software SLIDE.

O resultado da análise de estabilidade da B I para a condição não drenada apresentou um valor de FS = 1,3 (figura 72).

Figura 72: Resultado da análise de estabilidade para a condição não drenada da B I



Fonte: Auditoria/2016 Comum / Geral Barragem B I Relatório Técnico da Auditoria Extraordinária Relatório de Inspeção de Segurança Regular (Documento Geoconsultoria VL55-RT05, Revisão 2, 11/11/2016, pág. 29)

Dando sequência à análise, a empresa Geoconsultoria, conforme a sua compreensão, esclarece na página 30 do relatório a metodologia de Olson (op. cit.) para o julgamento do valor do FS para resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v), já descrita no item 3.1 deste capítulo.

Ao final a empresa consultora conclui pela estabilidade da B I para a condição não drenada pois foi obtido um FS de valor igual a 1,3 que atende à metodologia de Olson (op. cit.).

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Podemos apontar que a Geoconsultoria foi silente em relação às informações constantes em outro documento elaborado por ela mesma em 26/07/2016, denominado “Estudo de Liquefação Está ca – Barragem B I – Córrego do Feijão- VL47MC01-R0), analisado em detalhes no capítulo “Liquefação da Barragem B I” deste relatório.

Segundo este documento, o método utilizado por Olson (op. cit.) para se obter o valor da envoltória de resistência não drenada (S_u/σ'_v) emprega os resultados dos ensaios de SPT e CPTu. Foram feitas diversas análises na zona de possível liquefação da B I adotando-se razões de resistência (S_u/σ'_v) iguais a 0,23, 0,25, 0,30 e 0,40 e somente os dois primeiros valores obedecem ao critério de Olson (op. cit.).

No entanto, a empresa consultora, para o cálculo do valor da envoltória de resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v), utilizou valores elevados de ensaios Triaxiais e de Vane Tests, conforme será abordado ainda neste relatório, implicando no aumento desta envoltória (obtido $S_u/\sigma'_v = 0,36$) e consequentemente do valor do FS para a condição não drenada da barragem (obtido FS = 1,3). A adoção de uma envoltória de resistência com valor de 0,36, maior que os critérios definidos pela metodologia de Olson (op. cit.), quais sejam, S_u/σ'_v de 0,22 a 0,29, acarretou em um aumento no FS. **Neste sentido o trabalho da Geoconsultoria não**

observa a metodologia de Olson, (op. cit.) determinada por ela mesma para a análise de estabilidade da B I para a condição não drenada.

3.2.3. Documento Vale.AT-LT-PFE-107-01.17

Auditoria Técnica de Segurança 2017 – Fase VI A – Complexo Paraopeba – Mina Córrego Do Feijão Barragem I Relatório de Inspeção de Segurança Regular Laudo Técnico de Segurança de Barragem (Documento Vale.AT-LT-PFE-107-01.17, Revisão 0, 13/09/2017) Empresa Consultora: Tractebel

Conforme o documento, foi selecionada uma seção representativa (não há menção a qual seção) – Alteamentos até as cotas 937 e 942 m – da barragem para a verificação da estabilidade. Foram adotados valores de parâmetros de resistência das análises de estabilidade das etapas anteriores, visto que os ensaios executados comprovaram a validade dos dados. A coleta de amostras indeformadas para os ensaios de laboratório limitou-se à profundidade máxima de 5,50 m.

3.2.3.1. FS para condição drenada

As análises foram conduzidas considerando a geometria da barragem, posição do NA no reservatório, largura de praia e leituras dos piezômetros na ocasião, e ainda os resultados de diversos ensaios de permeabilidade *in situ* e em laboratório executados pelo projeto.

As análises da seção representativa e para a elevação final da barragem (cota 942 m), considerando os comprimentos de praia de 100, 50 e 40 m, apresentaram FS de 1,90; 1,86 e 1,53, respectivamente.

A empresa consultora relata que mais dois casos foram analisados:

- Elevação do lençol freático no talude superior decorrente da má drenagem e heterogeneidade dos rejeitos com possibilidade de ruptura abrangendo 3 diques (6º, 7º e 8º alteamentos) que apresentou FS de 1,80. Elevou-se ainda mais o NA (posição mais elevada do lençol freático) e obteve-se um FS de 1,65;
- Deficiência de compactação com consequente redução de resistência do aterro e lençol freático alto para os mesmos 03 diques anteriores, obtendo FS de 1,61. Para estas mesmas considerações e com a elevação do NA na posição mais elevada obteve-se um FS de 1,47.

Conforme a página 37 do documento, a empresa Tractebel conclui que os FS determinados para a condição drenada são superiores ao mínimo preconizado pela norma NBR 13.028/2006, que determina $FS > 1,5$ (condição normal de operação) e $FS > 1,3$ (situação crítica de elevação do NA).

3.2.3.2. FS para condição não drenada

Para a condição não drenada a empresa inspetora valeu-se dos mesmos dados dos ensaios em campo disponíveis na barragem (CPTu, SPT e Vane Tests) e dos ensaios de laboratório (compressões Triaxiais) que a empresa Geoconsultoria utilizou em sua inspeção em 2016.

O cálculo do FS para a resistência não drenada adotou o valor para o parâmetro da envoltória de resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v) igual a 0,36, considerando uma média ponderada entre a razão de 2/3 dos valores dos ensaios de campo e 1/3 dos valores de resistência para os ensaios de laboratório. Portanto, a empresa consultora utilizou o mesmo critério de cálculo para a envoltória de resistência não drenada (S_u/σ'_v) do relatório de inspeção da empresa Geoconsultoria em 2016.

O Fator de Segurança obtido para a condição não drenada por avaliação estática foi de 1,3 e para a condição não drenada por avaliação pseudoestática foi de 1,1.

A empresa Tractebel conclui que os valores obtidos dos FS na condição não drenada são iguais aos limites do critério estabelecido por Olson (op. cit.) e que as análises de estabilidade mostraram-se totalmente dependentes da posição da linha freática ao longo dos rejeitos do reservatório e do maciço da barragem.

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

A Tractebel também foi silente em relação à informação constante no documento elaborado pela empresa Geoconsultoria em 26/07/2016, denominado “Estudo de Liquefação Estática – Barragem B I – Córrego do Feijão - VL47MC01-R0), analisado em detalhes no capítulo “Liquefação da Barragem B I” deste relatório.

Segundo este documento, o método utilizado por Olson (op. cit.) para se obter o valor da envoltória de resistência não drenada (S_u/σ'_v) emprega os resultados dos ensaios de SPT e CPTu. Foram feitas diversas análises na zona de possível liquefação da B I adotando-se razões de resistência (S_u/σ'_v) iguais a 0,23, 0,25, 0,30 e 0,40 e somente os dois primeiros valores obedecem ao critério de Olson (op. cit.).

No entanto, a Tractebel, para o cálculo do valor da envoltória de resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v), utilizou valores elevados de ensaios Triaxiais e de Vane Tests, conforme será abordado ainda neste relatório, implicando no aumento desta envoltória (obtido $S_u/\sigma'_v = 0,36$) e consequentemente do valor do FS para a condição não drenada da barragem (obtido $FS = 1,3$). Neste sentido, da mesma forma já abordada na análise do documento anterior, a Tractebel não observa a metodologia de Olson (op. cit.) determinada para a análise de estabilidade da B I para a condição não drenada.

3.2.4. Documento Vale.AT-LT-PFE-107-01.18

Auditoria Técnica De Segurança 2018 – Fase VI B - Complexo Paraopeba - Mina Córrego Do Feijão Barragem Relatório De Inspeção De Segurança Regular (Revisão 0, 29/03/2018)

Empresa Inspetora: Tractebel

O RISR da B I elaborado pela Tractebel em março de 2018 é idêntico ao elaborado seis meses antes e que foi analisado no tópico acima.

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho:

Em entrevista com a Engenheira Ana Lúcia Yoda, responsável pela elaboração do RISR, quando interpelada pela Auditoria Fiscal do Trabalho sobre a equivalência dos dois documentos elaborados pela empresa, afirmou que os dados para cálculo do FS eram os mesmos utilizados pela Geoconsultoria em 2016. Questionada se os níveis piezométricos não haviam se alterado nesse período, a Engenheira disse que houve alteração, mas que para o cálculo do FS utilizou-se a piezometria histórica mais alta (pior caso) medida nos instrumentos de auscultação.

O critério adotado pela consultoria não foi adequado, já que a alteração piezométrica no período deveria ter sido considerada nos cálculos do FS. Caso contrário, o FS somente se alteraria se os níveis piezométricos apresentassem valores superiores às marcas históricas consideradas.

A conclusão sobre a estabilidade da B I, no RISR de março de 2018, para condição drenada e não drenada foi a mesma atestada pela Tractebel em setembro de 2017.

A Engenheira Ana Yoda, disse ainda que ficou “desconfortável” com a instalação de DHP. Que em maio de 2018 fizeram a inspeção (para o laudo a ser emitido em setembro de 2018) quando estranharam a existência dos DHP instalados.

Disse que nesta época a TÜV SÜD estava fazendo a revisão periódica enquanto a Tractebel estava fazendo as análises para emissão do relatório de auditoria. Sendo que a Tractebel pediu um tempo para analisar melhor os dados e para emitir o Relatório pois estranharam o FS de 1,09 (calculado pela TÜV SÜD) que era baixo.

Disse que DHP associado a FS baixo causaram estranhamento e desconforto na Tractebel. Neste momento o Engenheiro Washington Pire (da Vale) disse que achava que a Tractebel não estava muito segura com os dados e que a Vale entendia que a TÜV SÜD teria mais experiência. Assim dispensaram a Tractebel de emitir o relatório e a DCE de setembro de 2018.

3.2.5. Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18

Auditoria Técnica De Segurança 2º Ciclo 2018 Complexo Paraopeba - Mina Córrego Feijão Barragem I Relatório de Inspeção de Segurança Regular Laudo Técnico de Segurança De Barragem (Revisão 0, 03/09/2018). Empresa Consultora: TÜV SÜD

Conforme a página 51 do documento, foram consideradas três seções transversais (C, D e E) para a realização das análises de estabilidade da barragem. Estas eram “conformadas por cinco materiais: rejeito, aterro com minério ultrafino, aterro em solo compactado, aterro de rejeito compactado e fundação em solo residual”.

Foram realizadas análises de estabilidade para duas condições de comportamento frente à presença d’água: análise drenada, cujos parâmetros necessários são o peso específico do material (γ), sua coesão c' e seu ângulo de atrito ϕ' ; e análise não-drenada, na qual os materiais saturados suscetíveis a liquefação apresentam resistência não-drenada (s_u) e os demais materiais mantêm sua resistência drenada (c' e ϕ').

O relatório esclareceu que as análises sob condição não drenada mesclam conceitos distintos onde se avaliam concomitantemente resistências drenadas e não-drenadas e apesar de ser uma abordagem heterodoxa e não usual, trata-se de metodologia que vem sendo aplicada sistematicamente e baseada em Olson (op. cit.). Os parâmetros geotécnicos adotados estão presentes na tabela 5 extraída do documento.

Tabela 5: Parâmetros geotécnicos considerados para a B I

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (graus)	s_u/σ'_{v0}	
				pico	residual
Rejeito	26	0	35	0,26	0,09
Aterro com minério ultrafino	25	0	30	---	---
Aterro em solo compactado	19	10	30	---	---
Aterro de rejeito compactado	28	0	37	---	---
Fundação em solo residual	20	16	30	---	---

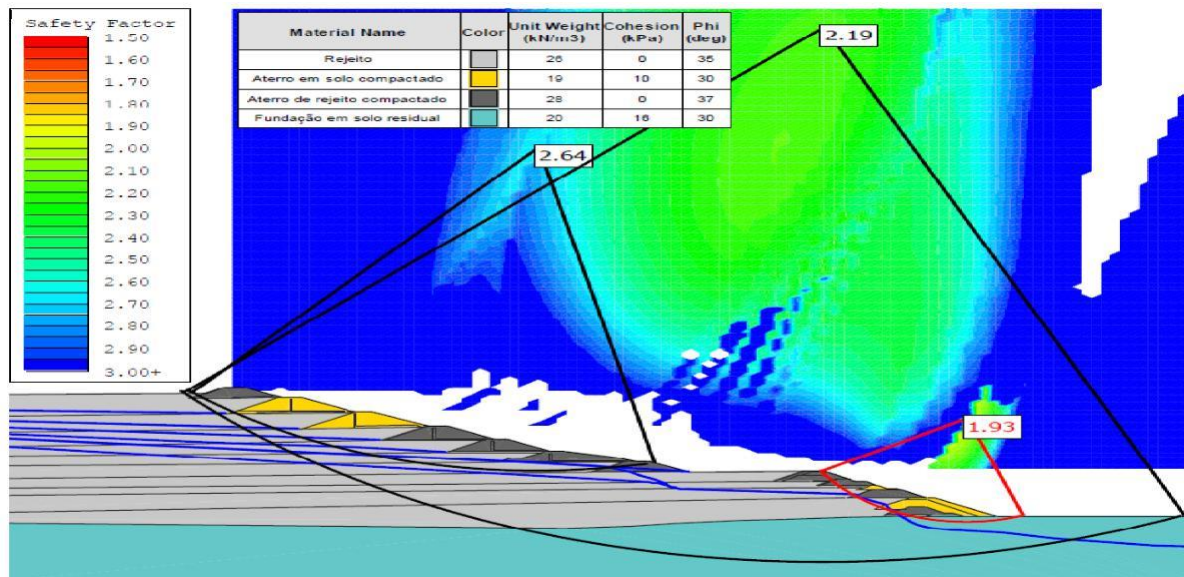
Fonte: Auditoria Técnica De Segurança 2º Ciclo 2018 Complexo Paraopeba - Mina Córrego Feijão Barragem I Relatório de Inspeção de Segurança Regular Laudo Técnico de Segurança de Barragem (Documento TÜV SÜD Bureau Rc-sp-100/18, Revisão 0, 03/09/2018, pág. 52)

3.2.5.1. FS para condição drenada

A análise de estabilidade da B I sob condições drenadas foi realizada utilizando-se os parâmetros geotécnicos da tabela 5. A condição de piezometria adotada foi interpretada considerando as medidas de piezômetros e INAs, bem como os resultados de CPTu que permitiram identificar a presença de lençóis empoleirados no reservatório.

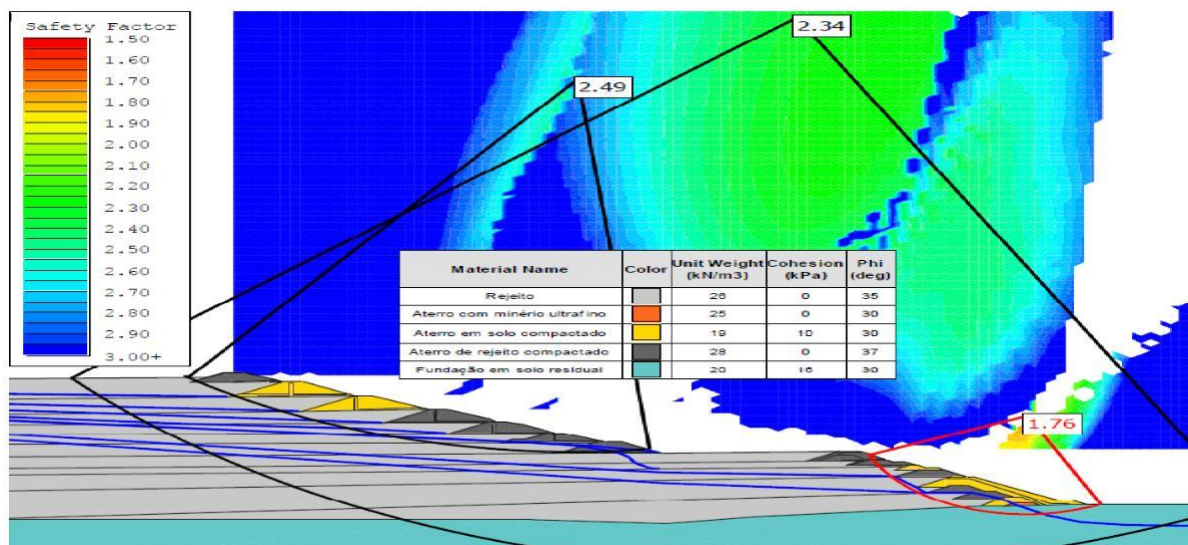
Os FS obtidos foram FS = 1,93 (Seção C-C), FS = 1,76 (Seção D-D) e FS = 1,60 (Seção E-E), sendo que as superfícies críticas desenvolveram-se abaixo da berm de recuo da cota 899 m, interceptando o dique de parâmetros e condicionando a estabilidade da B I sob condições drenadas, conforme figura 73, figura 74 e figura 75.

Figura 73: Análise de estabilidade para a condição drenada, super cie circular (Seção C-C):
FS=1,93 (Spencer)



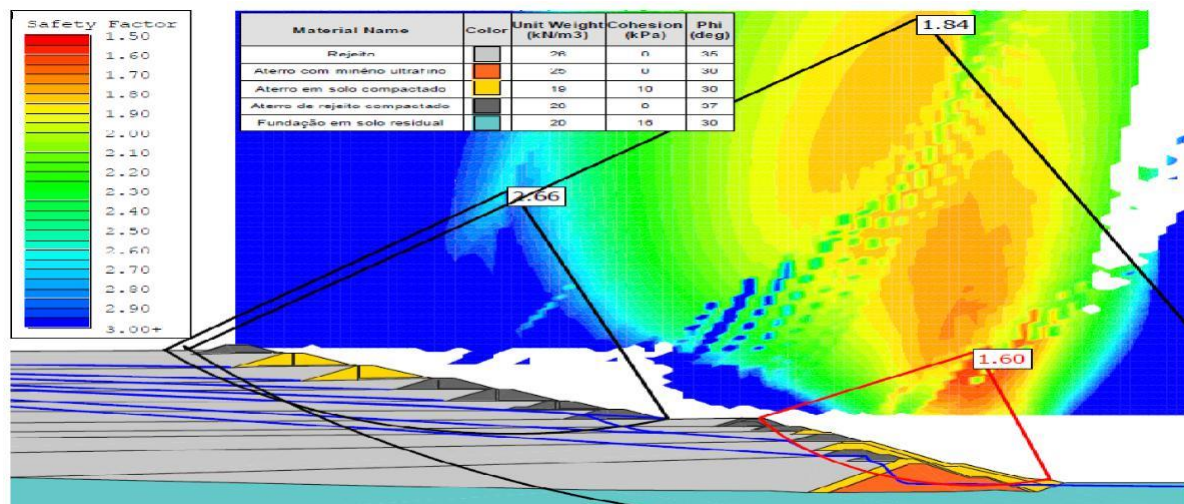
Fonte: Auditoria Técnica De Segurança 2º Ciclo 2018 Complexo Paraopeba - Mina Córrego Feijão Barragem I Relatório de Inspeção de Segurança Regular Laudo Técnico de Segurança de Barragem (Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18, Revisão 0, 03/09/2018, pág. 59)

Figura 74: Análise de estabilidade para a condição drenada, super cie circular (Seção D-D):
FS=1,76 (Spencer)



Fonte: Auditoria Técnica De Segurança 2º Ciclo 2018 Complexo Paraopeba - Mina Córrego Feijão Barragem I Relatório de Inspeção de Segurança Regular Laudo Técnico de Segurança de Barragem (Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18, Revisão 0, 03/09/2018, pág. 60)

Figura 75: Análise de estabilidade para a condição drenada, super cie circular (Seção E-E): FS=1,60 (Spencer)



Fonte: Auditoria Técnica De Segurança 2º Ciclo 2018 Complexo Paraopeba - Mina Córrego Feijão Barragem I Relatório de Inspeção de Segurança Regular Laudo Técnico de Segurança de Barragem (Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18, Revisão 0, 03/09/2018, pág. 61)

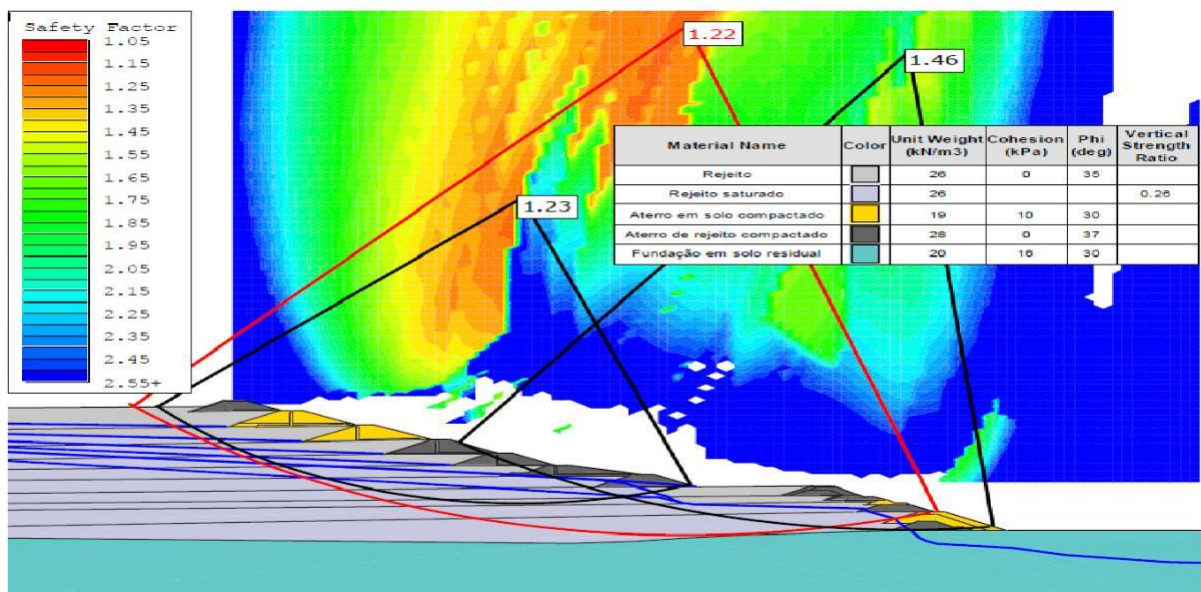
A empresa TÜV SÜD concluiu que a B I se encontrava estável para o cenário de instabilização do talude de jusante sob a condição drenada (pior cenário), em razão dos FS encontrarem-se superiores ao preconizado na NBR 13.028/2006 ($FS > 1,5$).

3.2.5.2. FS para condição não drenada

As análises da estabilidade sob condição não drenada têm o intuito de avaliar a ruptura da barragem por liquefação.

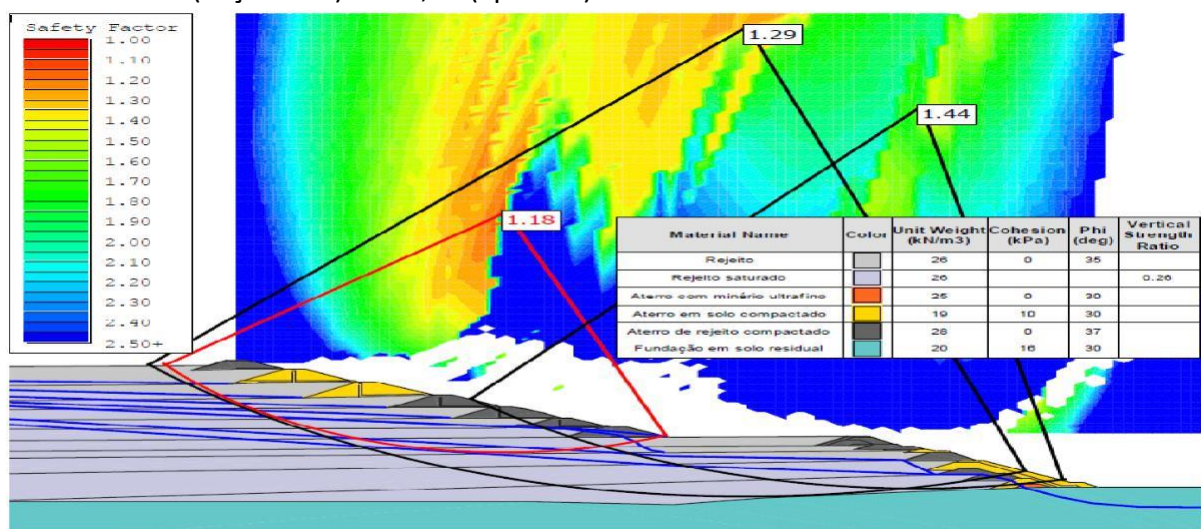
Para a avaliação do potencial de liquefação considerou-se que algo imprevisível (ga lho) possa ocorrer e levar os materiais suscetíveis a liquefação a angirem sua resistência não drenada de pico. Deste modo, conforme a figura 76, figura 77 e figura 78 extraídas do documento, as análises realizadas considerando um ga lho desconhecido resultaram nos $FS = 1,22$ (Seção C-C), $FS = 1,18$ (Seção D-D) e $FS = 1,09$ (Seção E-E).

Figura 76: Análise de estabilidade para a condição não drenada, super cie circular e ga lho desconhecido (Seção C-C): FS=1,22 (Spencer)



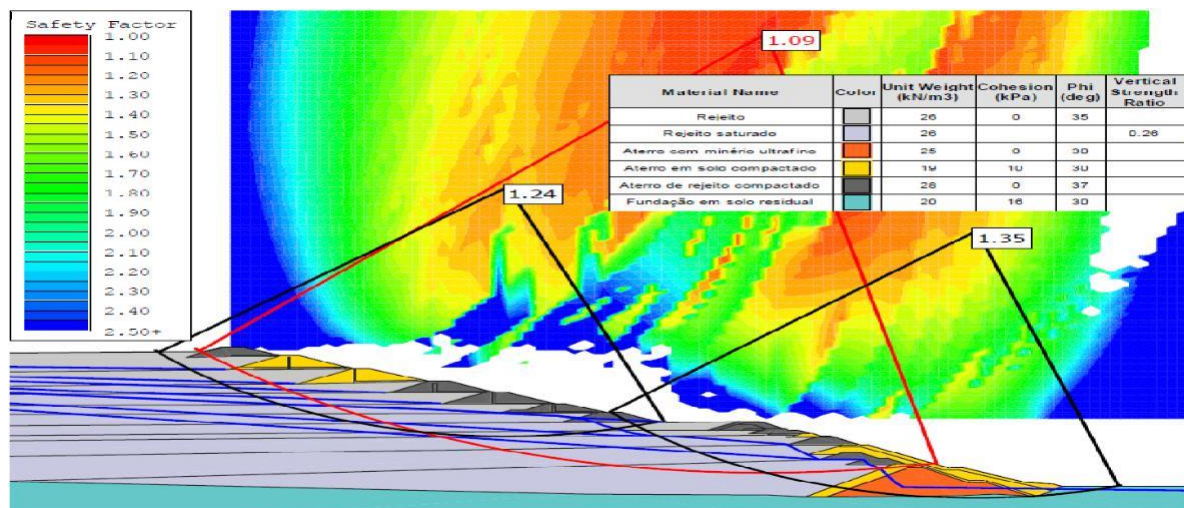
Fonte: Auditoria Técnica De Segurança 2º Ciclo 2018 Complexo Paraopeba - Mina Córrego Feijão Barragem I Relatório de Inspeção de Segurança Regular Laudo Técnico de Segurança de Barragem (Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18, Revisão 0, 03/09/2018, pág. 63)

Figura 77: Análise de estabilidade para a condição não drenada, super cie circular e ga lho desconhecido (Seção D-D): FS=1,18 (Spencer)



Fonte: Auditoria Técnica De Segurança 2º Ciclo 2018 Complexo Paraopeba - Mina Córrego Feijão Barragem I Relatório de Inspeção de Segurança Regular Laudo Técnico de Segurança de Barragem (Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18, Revisão 0, 03/09/2018, pág. 64)

Figura 78: Análise de estabilidade para a condição não drenada, superfície circular e gaího desconhecido (Seção E-E): FS=1,09 (Spencer).



Fonte: Auditoria Técnica De Segurança 2º Ciclo 2018 Complexo Paraopeba - Mina Córrego Feijão Barragem I Relatório de Inspeção de Segurança Regular Laudo Técnico de Segurança de Barragem (Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18, Revisão 0, 03/09/2018, pág. 65)

A fim de avaliar se os fatores de segurança calculados estavam acima do mínimo necessário para emissão da Declaração de Condição de Estabilidade (DCE), a TÜV SÜD faz as seguintes considerações:

A norma NBR-13028 (2017) não preconiza um fator de segurança mínimo para o modo de falha liquefação. Entende-se, entretanto, que para este fenômeno se desenvolver, se faz necessária a ocorrência de um gaího, o qual pode ser compreendido como uma solicitação excepcional, de baixa probabilidade, **sendo suficiente um fator de segurança superior ao unitário.** Leshchinsky e Ambauen (2015)¹⁹, entretanto, demonstram a existência de um erro epistêmico ao método do Equilíbrio Limite, o qual impõe superfícies de ruptura e subdivide a massa instável em lamelas que não respeitam o trabalho cinemático do fenômeno. Os autores compararam resultados obtidos pelo método do Equilíbrio Limite com resultados de Análises Limite Numéricas, as quais são mais rigorosas por analisarem uma cinemática realista e fornecerem como resultado, além do fator de segurança, também o mecanismo de ruptura. **Notaram que por vezes o método de Spencer forneceu FS maiores e menores que o exato. Os resultados mostrados por aqueles autores indicam que um fator de segurança superior a 1,05 cobre um possível erro envolvido no método de cálculo utilizado. Conclui-se que a Barragem I se encontra estável quanto à liquefação do rejeito, no cenário de instabilização sob a condição não-drenada, com FS > 1,05 ao serem considerados valores médios para a razão de resistência não-drenada do rejeito saturado (grifo nosso).**

¹⁹ Leshchinsky, B. and Ambauen S. (2015). Limit Equilibrium and Limit Analysis: Comparison of Benchmark Slope Stability Problems. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001347

Recomendou, por fim, evitar a indução de vibrações, proibir detonações próximas, evitar o tráfego de equipamentos pesados na barragem, impedir a elevação do nível de água no rejeito, não executar obras que rassem material dos pés dos taludes ou obras que causassem sobrecarga no reservatório ou na barragem. Também recomendou a instalação de registro sísmológico no entorno da barragem.

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

A TÜV SÜD prudentemente adotou um critério conservador para obter o parâmetro da envoltória de resistência não drenada (S_u/σ'_v) ao empregar somente os resultados dos ensaios de SPT e CPTu para o cálculo, sendo coerente com a metodologia de Olson (op. cit.) adotada como referência para o cálculo dos FS para a condição não drenada.

Apesar de adotar uma postura coerente para o cálculo do valor da envoltória de resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v), a TÜV SÜD não observa tal padrão de prudência ao definir o limite dos FS para a condição não drenada da B I que, segundo a metodologia de Olson (op. cit.), deve observar o valor mínimo de 1,3.

A TÜV SÜD, utilizando o método de Equilíbrio Limite (LE) para o cálculo do FS da B I, chega ao valor de 1,09 para a seção mais crítica.

A partir daí, a empresa auditora estranhamente passa a desconsiderar fatores de segurança mais conservadores que preconizam que o limite mínimo para o FS na condição não drenada é de 1,3. Se valendo de um vazio legal na norma técnica nacional, adota como paradigma o valor de FS mínimo acima do valor unitário, ou seja, 1.

Em seguida, para não apoiar-se em um número excessivamente “no limite” da boa engenharia, recorre a um argumento que aponta que pode haver pequenas imprecisões na determinação do FS quando se compara diferentes metodologias para seu cálculo. Com base neste argumento, em uma postura aparentemente conservadora, seleciona uma “margem de segurança” (não deixando muito claro como foi estabelecida) e eleva o FS mínimo, para condição não drenada, de 1 para 1,05.

Conforme citamos acima, observa-se uma falta de clareza no uso do argumento de Leshchinsky e Ambauen para afirmar que o FS mínimo pode ser considerado 1,05. Repetimos as palavras da empresa auditora no trecho em que faz tal afirmação:

Os resultados mostrados por aqueles autores indicam que um fator de segurança superior a 1,05 cobre um possível erro envolvido no método de cálculo utilizado.

Entretanto o argumento citado, que não aborda as questões ligadas aos efeitos de liquefação, não chega a tratar sobre Fatores de Segurança mínimos aceitáveis.

Cabe salientar que o argumento, citado pela TÜV SÜD no RISR de setembro de 2018, apenas propõe uma nova metodologia de cálculo de Fator de Segurança denominado “DLO-LA”, utilizando programa computacional que é comparado com as metodologias tradicionalmente usadas para o cálculo de FS, como LE.

Nesta nova metodologia, os autores alimentam o sistema computacional com dados hipotéticos para cálculos de FS de barragens de dique único construído por taludes com

características geotécnicas predefinidas e chegam à conclusão que o método de cálculo computacional proposto (DLO-LA) leva a cálculos de Fatores de Segurança semelhantes aos métodos tradicionalmente utilizados pela geotecnia (LE).

Em resumo, os autores apenas compararam o seu método com o Método de Equilíbrio Limite para dizer que ambos guardam proximidade entre si em termos de resultado, sem tratar de FS mínimos.

Cabe lembrar que o FS calculado da BI em setembro de 2018 para a seção mais crítica foi de 1,09. Logo, estava acima do novo mínimo de 1,05 adotado pela TÜV SÜD, permitindo, assim, a emissão da Declaração de Condição de Estabilidade.

Salienta-se que, conforme definido no PIESEM (Painel Independente de Especialistas para Segurança e Gestão de Riscos de Estruturas Geotécnicas), realizado pela Vale em **dezembro/2017**²⁰, o valor do FS mínimo aceitável em condição não drenada de pico seria de **1,3**. Pondera-se ainda que a TÜV SÜD utilizou, quando da elaboração dos RISR e DCE de barragens de outras minas da Vale, no período de 2015 a 2019, um FS mínimo para condição não drenada igual a 1,3.

Ou seja, houve uma clara quebra de paradigma em desfavor da segurança da Barragem I.

3.2.6. Resumo dos Fatores de Segurança nos documentos

Quadro 8: Fatores de segurança da Barragem B I – Mina Córrego do Feijão conforme os Relatórios de Inspeção de Segurança do período de 05/2015 a 08/2018

Empresa Consultora	FS condição drenada		FS condição não drenada	Observações
Pimenta de Ávila - 2015	Parecer: FS > 1,5		FS = 1,53 (praia de 40m)	-Seção da barragem analisada: Seção 2 - alteamentos até as cotas 937 e 942 m. -Recomenda análise de liquefação. -Admite ruptura da barragem em condição não drenada devido a presença de camada de rejeitos finos abaixo da cota 898,0 m determinada através das sondagens e ensaios de campo. -Nos Fatores de Segurança FS indicados ao lado, adotou-se o menor valor entre o FS para ruptura local e a global. - Conclui pela estabilidade da Barragem B I pois os Fatores de Segurança FS encontram-se acima do preconizado pela NBR 13.028/2006 (FS>1,5).
	Piezometria	FS 1,88		
	NA no pé do talude	FS 1,64		
	Praia a 50m	FS 1,84		
	Praia a 100m	FS 1,85		
	Praia a 110m	FS 1,86		
	Taludes individuais	FS 1,79		
Geoconsultoria 2016	Parecer: estabilidade satisfatória FS>1,60		Parecer: FS = 1,30	-Seção da barragem analisada: Seção 2 - alteamentos até as cotas 930 e 942 m. - Recomendação para que na próxima inspeção se confirme os parâmetros não drenados.
	Talude inferior – com praia aumentada	FS = 1,90		

²⁰Specialist's Panel 2nd meeting: Factor of Safety (FS) requirements: Closed dam, undrained (liquefaction trigger, yield) FS ≥ 1.3

	Talude inferior – sem praia de montante	FS = 1,64		- Nos Fatores de Segurança FS indicados ao lado, adotou-se o menor valor entre o FS para a ruptura local e a global.
	Praia a 100m – Cota 942m	FS = 1,90		- Conclui que a estabilidade da Barragem B I é satisfatória na condição drenada e para a condição não drenada.
	Talude inferior com praia superior a 100m – cota 937	FS 1,86		- Não emite parecer sobre a situação adversa à segurança da barragem em condição drenada (Ruptura progressiva local com FS<1).
	Praia a 50m – Cota 942m	FS = 1,80		- Não observa a metodologia de Olson(2001), considerando os resultados dos ensaios Triaxiais e de Vane Test para o cálculo do valor da envoltória de resistência não drenada (S_u/σ'_{v_0}), e deste modo obteve um Fator de Segurança – FS=1,3 elevado que conferiu estabilidade da barragem na condição não drenada.
	Variação de NA na posição mais elevada	FS = 1,65		
	Resistência reduzida e pior hipótese de posição da linha freática	FS < 1,5		
	Figura 9 – Cota 942 – redução da largura da praia para 50m da crista (Ruptura progressiva local)	FS<1		
Tractebel 2017	FS > 1,5		FS = 1,3 avaliação está ca	- Seção analisada: representa va da barragem (não denomina a seção) - alteamentos até as cotas 937 e 942m.
			FS = 1,1 avaliação pseudoestá ca	- A empresa consultora observa que a possibilidade de ga lho de natureza está ca é remota, porém deve ser considerado a possibilidade de sismo e se este ocorrer as análises mostraram que os fatores de segurança encontram-se no mínimo recomendável e que o monitoramento na barragem deve ser rigoroso.
	Praia a 100m – Cota 942m	FS = 1,90		
	Praia a 50m – Cota 942m	FS = 1,86		
	Praia a 40m – Cota 942m	FS = 1,53		
	Elevação do lençol freático no talude superior (6º, 7º, 8º alteamentos).	FS = 1,80		- Conclui que as análises da estabilidade da Barragem B I para a condição drenada apontam que os fatores de segurança são superiores ao mínimo preconizado pela norma. Contudo, as análises da estabilidade para a condição não drenada indicam que os fatores de segurança encontram-se no mínimo recomendável e que o monitoramento na barragem deve ser rigoroso.
	Posição mais elevada do lençol freático no talude superior (6º, 7º, 8º alteamentos).	FS = 1,65		
	Variação de NA na posição mais elevada	FS = 1,61		- Não observa a metodologia de Olson (2001), considerando os resultados dos ensaios Triaxiais e de Vane Test para o cálculo do valor da envoltória de resistência não drenada (S_u/σ'_{v_0}), e deste modo obteve um Fator de Segurança – FS=1,3 elevado que conferiu estabilidade da barragem na condição não drenada.
Tractebel 03/2018	FS > 1,5		FS = 1,3 avaliação está ca	- Seção analisada: representa va da barragem (não denomina a seção) - alteamentos até as cotas 937 e 942m.
			FS = 1,1 avaliação pseudoestá ca	- A empresa inspetora observa que a possibilidade de ga lho de natureza está ca é remota, porém deve ser considerado a possibilidade de sismo e se este ocorrer as análises mostraram que os fatores de segurança encontram-se no mínimo recomendável e que o monitoramento na barragem deve ser rigoroso.
	Praia a 100m – Cota 942m	FS = 1,90		
	Praia a 50m – Cota 942m	FS = 1,86		
	Praia a 40m – Cota 942m	FS = 1,53		
	Elevação do lençol freático no talude superior (6º, 7º, 8º alteamentos).	FS = 1,80		- Conclui que as análises da estabilidade da Barragem B I para a condição drenada apontam que os fatores de segurança são superiores ao mínimo preconizado pela norma. Contudo, as análises da estabilidade para a condição não

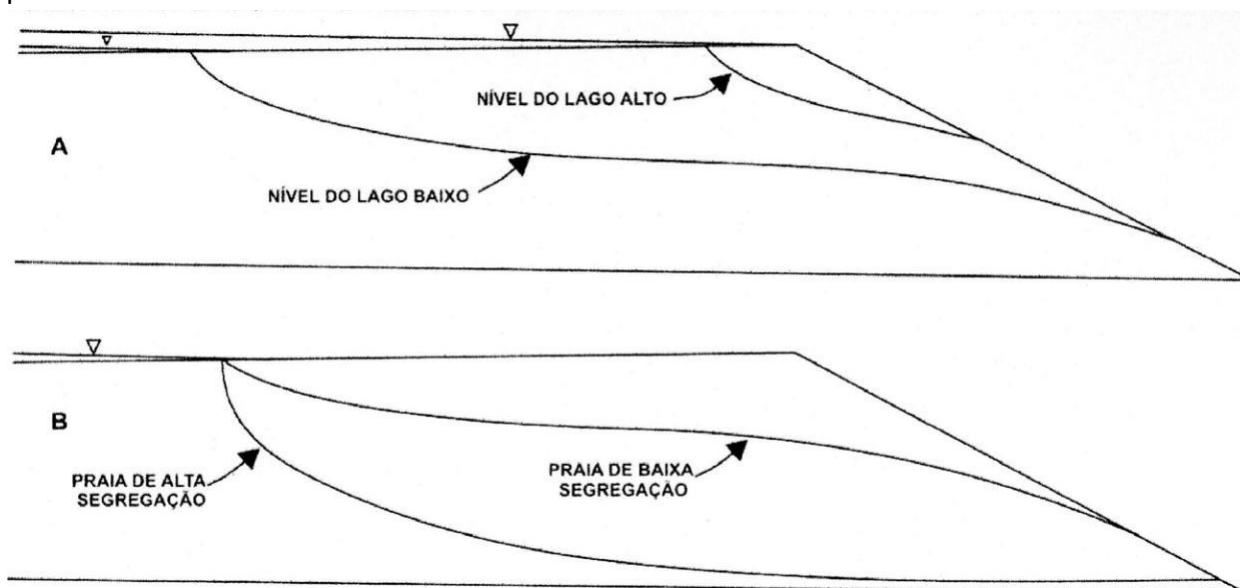
	Posição mais elevada do lençol freático no talude superior (6º, 7º, 8º alteamentos).	FS = 1,65		drenada indicam que os fatores de segurança encontram-se no mínimo recomendável e que o monitoramento na barragem deve ser rigoroso. - Não observa a metodologia de Olson (2001), considerando os resultados dos ensaios Triaxiais e de Vane Test para o cálculo do valor da envoltória de resistência não drenada (S_u/σ'_v), e deste modo obteve um Fator de Segurança – FS=1,3 elevado que conferiu estabilidade da barragem na condição não drenada. - Conforme a leitura dos dados ao lado, os valores encontrados dos Fatores de Segurança FS para a condição drenada e não drenada para as diversas situações de estabilidade avaliadas são idênticos ao do relatório anterior de inspeção de segurança regular emitido pela empresa consultora em 09/2017.
	Variação de NA na posição mais elevada	FS = 1,61		
	Resistência reduzida e pior hipótese de posição da linha freática	FS = 1,47		
TÜV SÜD 09/2018	FS > 1,5		FS = 1,09 (FS _{min} >1,05)	- Seções analisadas: Seções transversais Seção C-C, Seção D-D e Seção E-E. - A empresa inspetora observa que a variabilidade dos parâmetros geotécnicos resulta na variabilidade dos Fatores de Segurança FS e esta implica na probabilidade de falha por liquefação. - Conclui que as análises da estabilidade da Barragem B I para a condição drenada apontam que os fatores de segurança são superiores ao mínimo preconizado pela norma. - Conclui que a Barragem B I é estável na condição drenada pois os Fatores de Segurança FS encontram-se superiores ao preconizado na NBR 13.028/2006. - Conclui que a Barragem B I é estável na condição não drenada pois a pior condição do FS (Seção E-E, FS = 1,09) é superior a um FS mínimo de 1,05 para a condição não drenada. - A empresa adota para o cálculo dos FS em condição drenada e não drenada a metodologia do Equilíbrio Limite de Spencer, porém ao analisar o resultado do FS para a condição não drenada, quebra o paradigma até então adotado, de modo a conferir um parecer positivo de estabilidade da Barragem B I em condição não drenada. - Pela metodologia de Olson(2001), o valor de FS encontrado de 1,09 para a condição não drenada sinalizaria situação de instabilidade do barramento, sendo necessária a adoção de medidas corretivas pela empresa responsável pela estrutura.
	Seção transversal C-C	FS = 1,93	Seção C-C FS= 1,22	
	Seção transversal D-D	FS = 1,76	Seção D-D FS=1,18	
	Seção transversal E-E	FS = 1,60	Seção E-E FS=1,09	

Capítulo 4: Operação, monitoramento e manutenção da Barragem I

4.1. Praia de rejeitos

Segundo Castro (op. cit. p. 49) 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* – diagrama A da figura 79. O diagrama B 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.

Figura 79: Posicionamento do nível freático em decorrência do nível do lago e da segregação da praia



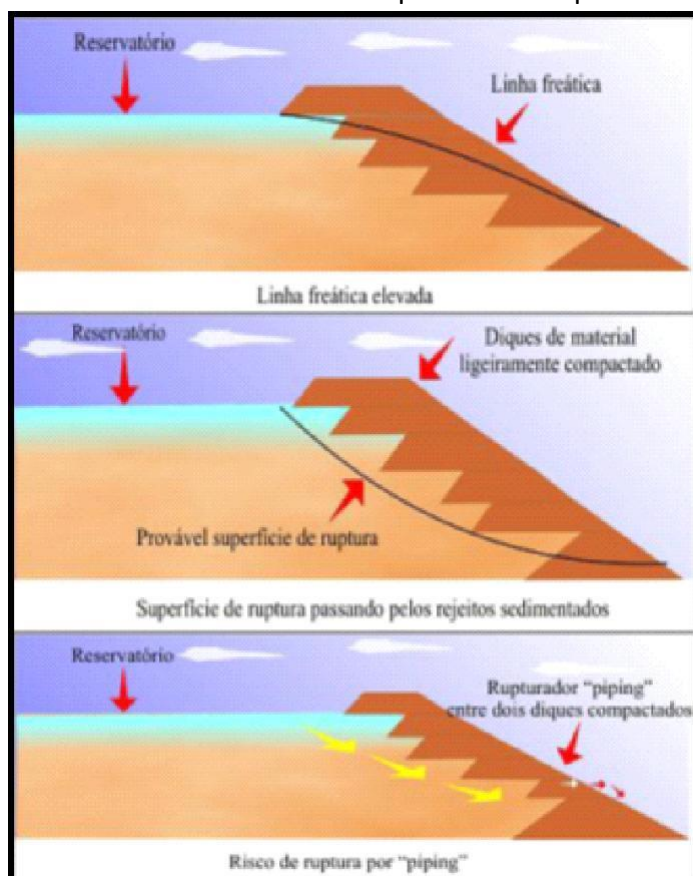
Fonte: Castro, 2008, p. 49

Galvão Sobrinho (2014)²¹ cita que o uso do rejeito como material construtivo é mais econômico, no entanto, entre algumas desvantagens estão a sua alta susceptibilidade à formação interna de *piping*, a alta erodibilidade da superfície e alta probabilidade de liquefação sobre carregamentos dinâmicos ou mesmo estáticos.

²¹ GALVÃO SOBRINHO, A. Metodologia para implantação de um sistema de disposição de rejeitos em minério de ferro na região do semiárido: estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/19693>

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 80.

Figura 80: Método de alteamento a montante com possíveis colapsos



Fonte: Soares, 2010 apud Galvão Sobrinho (op. cit)

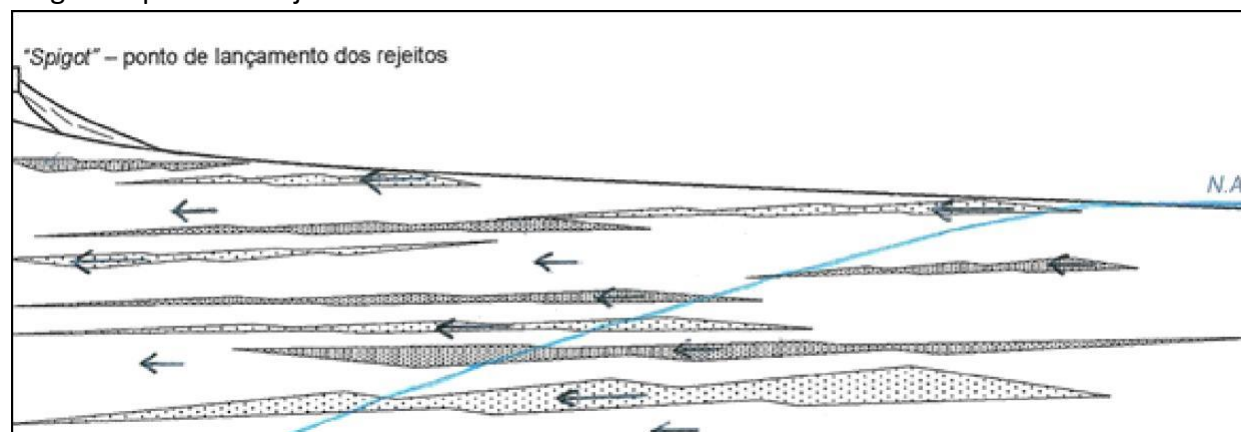
D'Agos no (2008)²² relata que nas praias de rejeitos predominam canais de transporte que migram a vamente, transportando e erodindo a superfície do terreno à medida que recebem material do ponto de lançamento da polpa. O depósito de rejeitos não ocorre de maneira laminar uniforme. Este padrão de erosão e transporte, que gera as irregularidades observadas, é importante do ponto de vista geotécnico.

Ainda segundo o autor, 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

²²D'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

permeabilidade conforme figura 81. 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 $[k_h]$ em função da camada atravessada.

Figura 81: Perfil longitudinal esquemático da variação da permeabilidade horizontal (k_h) ao longo das praias de rejeitos



Fonte: D'agostini (o. cit. p. 218)

A RPS de 2018 da B I, elaborada pela TÜV SÜD, menciona na pág. 31:

Verifica-se que o **processo de segregação sedimentar não é característico nesta praia de rejeitos**, provavelmente existindo no lado esquerdo e sendo mais evidente no lado direito;

Verificou-se que os diques externos foram normalmente executados com rejeitos compactados. Com exceção a camada superficial que recobre os 3 primeiros alteamentos (separados do 4º alteamento por uma berma relativamente larga) que foi executada com solo argiloso;

Internamente aos diques, os rejeitos foram lançados hidráulicamente. **O processo foi heterogêneo, ora lançando-se rejeitos em praias, ora lançando-se os rejeitos submersos.** Esta heterogeneidade de lançamento resultou em compacidade muito heterogêneas. (grifos nossos)

O documento Manual de Operação (VL28-MO-01, Rev. 1), de agosto de 2007, elaborado pela Geoconsultoria, estabelece (pág. 09), que um aspecto que deve ser levado em consideração, apenas para re rada dos "stop logs", é a largura da praia, a qual deve ser no mínimo de 150 m. Na página 10, o mesmo documento apresenta um quadro resumo (quadro 9):

Quadro 9: Quadro resumo das caracterís cas da B I

Resumo	
♦ Volume de reservação de água	Mínimo possível
♦ N.A. operacional abaixo da crista da barragem	2 m
♦ Largura mínima da praia	150 m
♦ Vazão de água descartada da usina c/ os rejeitos	957 m³/h
♦ Soleira do vertedor	2,5 m abaixo da crista
♦ Borda livre mínima	1,5 m

Fonte: Manual de Operação, Geoconsultoria, 2007

Já no Manual de Operação produzido pela Geoconsultoria, em abril de 2016 (VL47-RT-03), as mesmas informações sobre a largura da praia são apontadas (pág. 9): "O NA operacional deve situar-se entre 2,00 e 2,50m abaixo da cota da crista da barragem, visando garan r uma largura adequada da praia, devendo **o mínimo ser de 1,5 m (150 m de largura da praia)**, para declividade média de 1%"²³ (grifos nossos).

Em apresentação em powerpoint, no idioma inglês, denominada "Decommissioning B 1 Dam", (pág. 6), a Vale informa como se deu a formação da praia de rejeitos ao longo dos anos, conforme figura 82. Nesta mesma apresentação a Vale informa na pág. 22 (figura 83):

- 2005: Pimenta de Ávila relatou que a formação da praia não estava adequada, com largura de praia zero;
- 2006: Pimenta de Ávila reafirmou a necessidade de manter adequada largura de praia. Fotos de campo mostram não exis r praia.

Con nuando na mesma apresentação, é informado na pág. 23 (figura 84):

- 2012: Pimenta de Ávila relatou que os finos estão sendo detectados perto da barragem.
- 2014: Pimenta de Ávila relatou que a área escavada estava sendo preenchida com rejeitos, portanto não havia largura de praia.

²³ 1,5 m de borda livre corresponde a 150 m de largura de praia, adotando-se uma inclinação de 1%

Figura 82: Barragem B I com largura de praia igual a zero em 2002



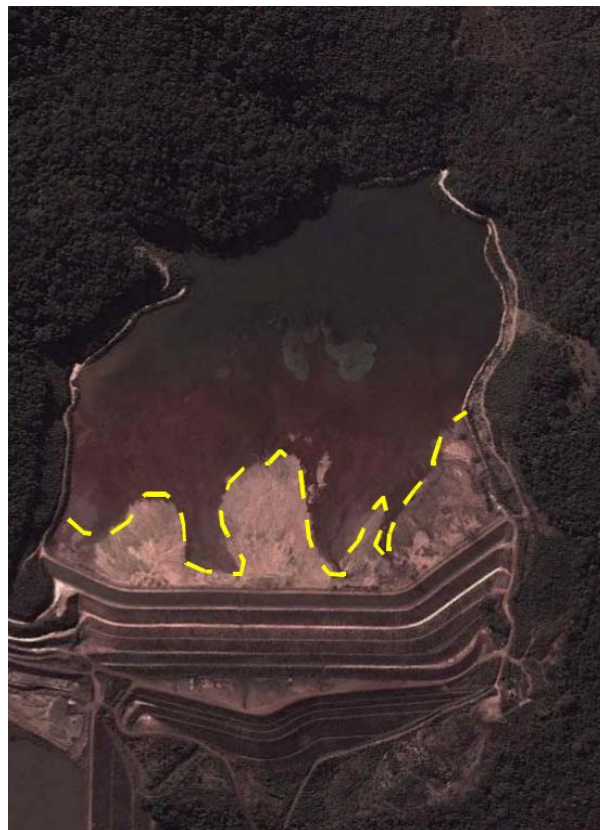
Fonte: Apresentação Vale "Decommissioning B I Dam", pág. 6, foto constante do relatório de inspeção de campo da DAM Projetos (2003)

Figura 83: Barragem B I sem largura de praia em 2006



Fonte: Apresentação Vale "Decommissioning B 1 Dam", pág. 22, PIESEM, outubro de 2018, foto constante do relatório da Pimenta de Ávila (2006)

Figura 84: Barragem B I com a praia começando a ser formada em 2012 (linha amarela tracejada), mas ainda com finos perto do barramento



Fonte: Apresentação Vale "Decommissioning B I Dam", pág. 23, PIESEM, outubro de 2018

No item 7.2 da RISR de 2015, elaborado por Pimenta de Ávila (pág. 12), é afirmado quanto à largura da praia:

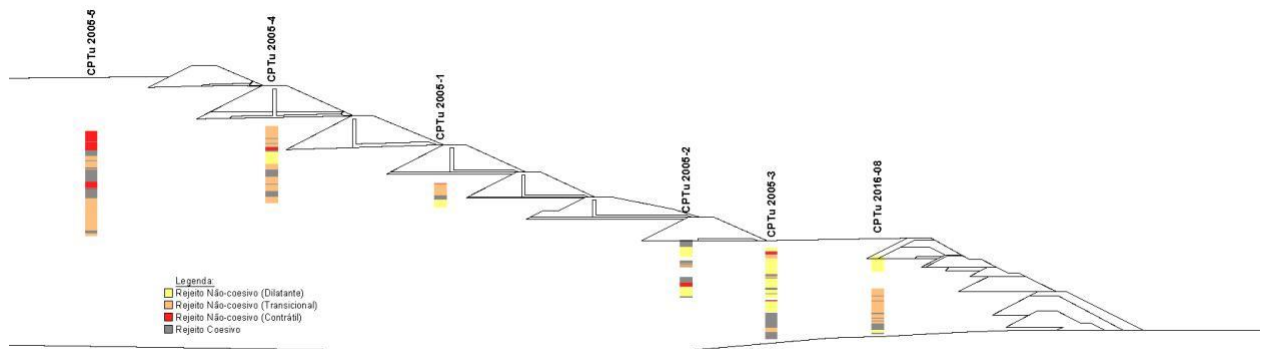
Visualmente o reservatório apresentava praia com aproximadamente 100,0 m de extensão, ou seja, inferior ao recomendado pelo manual de operação da estrutura (150,0 m). Contudo, conforme observado em campo e informado pela Vale, a praia de rejeitos se encontra em formação após obras do 10º alteamento.

Conforme se apurou em vários documentos fornecidos à Auditoria Fiscal do Trabalho, a largura da praia de rejeitos, até 2015, nunca foi respeitada pela Vale.

O lançamento de rejeitos na B I coaduna com o apontado por Castro (op. cit.) D'Agos no (op. cit.) e Galvão Sobrinho (op. cit.), isto é, a dificuldade de formação de uma praia homogênea, com os materiais de maior granulometria e mais permeáveis junto ao barramento. Camadas de materiais finos próximas aos diques prejudicam o escoamento da água e contribuem para a formação de lençóis suspensos ou lençóis empoleirados.

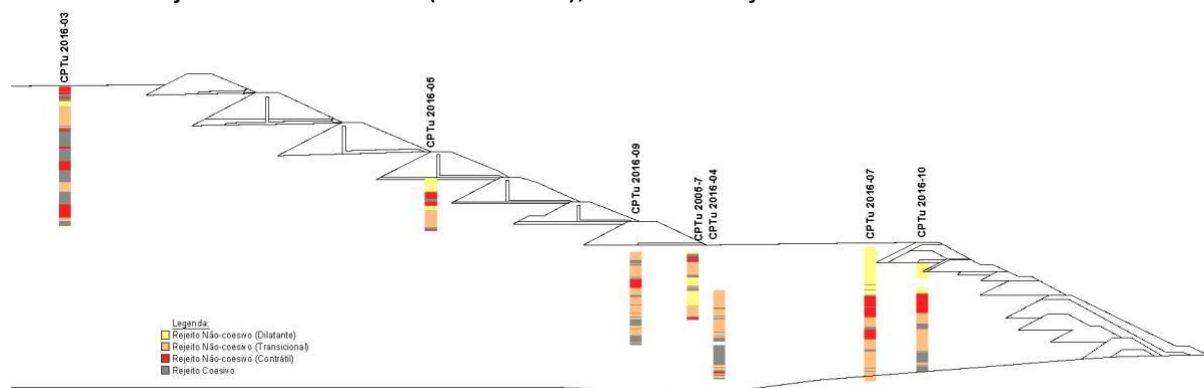
Os ensaios de CPTu produzidos pela Vale em 2005 e 2016, nas seções 2-2 e 3-3, demonstram claramente a heterogeneidade das camadas de rejeitos lançadas na "B I", conforme figura 85 e figura 86:

Figura 85: Resultados dos ensaios CPTu de 2005 e 2016 na seção 2-2 da B I. Obs: Cor amarela: rejeitos não coesivos (dilatante); cor laranja: rejeitos não coesivos (intermediários); cor vermelha: rejeitos não coesivos (contráteis); cor cinza: rejeitos coesivos



Fonte: Apresentação em inglês, "Dam I – Córrego do Feijão Mine - Periodic Review of Dam Safety Liquefaction analyses", Vale, pág. 71

Figura 86: Resultados dos ensaios CPTu de 2005 e 2016 na seção 3-3 da B I. Obs: Cor amarela: rejeitos não coesivos (dilatante); cor laranja: rejeitos não coesivos (intermediários); cor vermelha: rejeitos não coesivos (contráteis); cor cinza: rejeitos coesivos



Fonte: Apresentação em inglês, "Dam I – Córrego do Feijão Mine - Periodic Review of Dam Safety Liquefaction analyses", Vale, pág. 72

As camadas heterogêneas de rejeitos lançadas na B I, isto é, uma camada de rejeito arenosa lançada sobre um rejeito argiloso e vice-versa, prejudicam o escoamento de água e auxiliam na formação dos lençóis suspensos.

De acordo com as várias informações obtidas pela Auditoria Fiscal do Trabalho, a largura de praia insuficiente na B I, pelo menos até 2015, e a presença de lençóis suspensos contribuíram para que a barragem sempre mantivesse uma linha freática alta. Tal fato permitiu que a água permanecesse junto aos diques de alteamento construídos com rejeito arenoso, saturando-os e contribuindo para o processo de liquefação que ocorreu em 25/01/2019.

4.2 Auscultação na B I

4.2.1. Conceitos

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 projeto, verificar a necessidade da utilização de medidas corretivas, fornecer subsídios para a elaboração de novos critérios de projeto etc.²⁴

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** com data 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), inclinômetros e radares.

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.

²⁴ http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11080/11080_5.PDF- Acesso em 07 set 2019

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

Os inclinômetros são utilizados com o objetivo de mensurar deslocamentos horizontais, superficiais e em subsuperfície.

O radar interferométrico funciona com uma emissão de sinal de micro-onda que é direcionado para uma determinada área da estrutura monitorada e conforme a reflexão desta onda se calcula as movimentações da estrutura.

Os dados obtidos pela instrumentação devem ser criteriosamente correlacionados com os valores-limite 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. Apresentamos adiante a instrumentação de auscultação que foi empregada na B I.

4.2.2. Carta de riscos

A Carta de Riscos é o documento onde consta todo o mapeamento da instrumentação de auscultação da barragem incluindo localização e frequências de leituras, bem como informações sobre os níveis de segurança e parâmetros de referência para interpretação dos resultados das leituras da instrumentação.

A Carta de Riscos da B I²⁵ tem por objetivo apresentar os possíveis modos de ruptura e os níveis de segurança considerando a cota de alçamento 942 metros. O quadro 10 aponta os instrumentos que estavam instalados na B I em janeiro de 2018, e respectivas quantidades.

²⁵ A versão da Carta de Riscos em vigor na data do rompimento da barragem havia sido elaborada pela empresa Geoconsultoria em 11/04/2016 (Relatório Técnico VL47-RT-05 Rev. 1 Janeiro, 2018). Foi apresentada à fiscalização a Revisão 01 deste documento, elaborada em 24/01/2018 e assinada pelo engenheiro Adalberto H. Viana CREA 5062124275. Nesta revisão foi feita alteração do nível dos piezômetros PZF-13 e PZ-4C.

Quadro 10: Resumo da Instrumentação instalada na Barragem B I

	Instrumento	Qtde.	Objetivo	Local	Observação
1	Marco Superficial	18	Medir deformações horizontais e verticais (recalques)	Sobre as bermas dos diques	Instalados em 2006
2	Inclinômetro	2	Medir deformações em profundidade na barragem e detectar possíveis círculos de ruptura	Fixo na fundação; seções principais; parte central da barragem.	Instalados em 2005. Profundidades de 35 e 45 m.
3	Piezômetro Casagrande	90	Medir pressões neutras	Fundação dos diques; no aterro de rejeito e nos maciços dos diques.	Alguns talvez não estejam funcionando.
4	Indicador de nível d'água	38	Medir pressões neutras - hidrostáticas	Aterro de rejeito e nos maciços dos diques iniciais	Alguns talvez não estejam funcionando.
5	Drenos controlados com medição de vazão	53	Medir a vazão dos drenos e consequentemente a vazão percolada pela Barragem I	Nos taludes de jusante dos diques da barragem	Vários drenos encontram-se secos.
6	Régua de medição de nível d'água no reservatório	1	Medir o nível d'água do reservatório	Próximo ao talude esquerdo do reservatório	A régua foi instalada em 2004.
7	Pluviômetro	1	Medir o índice pluviométrico da região	Região de Córrego do Feijão - Região da Barragem I	

Fonte: Relatório Técnico - VL47-RT-05 Rev. 1 Janeiro, 2018

No quadro 10 destaca-se a informação genérica na coluna Observação, tanto para os piezômetros po Casagrande quanto para os Indicadores de Nível d'água: "Alguns talvez não estejam funcionando". Ora, dada a importância da Carta de Risco para a auscultação da barragem, entendemos que informações como esta deveriam ser apresentadas de forma detalhada, indicando quais instrumentos não estão funcionando, se deveriam ser trocados ou não e principalmente qual seria o impacto de sua ausência na interpretação dos resultados. A empresa TÜV SÜD estava realizando a automa zação de parte dos piezômetros Casagrande existentes, porém sua leitura e posterior inserção dos resultados ainda eram feitas de forma manual no sistema informa zado de geotecnia u lizado pela Vale .

A instrumentação de auscultação da barragem também era formada por medidores de deformação como marcos superficiais e inclinômetros u lizados para indicar eventuais movimentações do maciço.

Porém, com relação aos inclinômetros, segundo consta no RISR de setembro de 2018 da B I, elaborada pela TÜV SÜD, **"os instrumentos instalados não apresentam comprimentos adequados, não sendo engastados em camada indeslocável da fundação. Sendo assim, optou-se por não interpretar as informações fornecidas, apenas reproduzindo os dados brutos de monitoramento"** (grifo nosso). Vemos portanto que eventuais deslocamentos indicados pelos inclinômetros não eram confiáveis e foram, portanto, descartados para a análise da estabilidade da barragem²⁶.

²⁶De acordo com Galvão Sobrinho (op. cit.), 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 inters ciais, obter dados de deslocamento, tensão total, vazão, nível d'água e comparar estes dados ob dos através de leituras periódicas aos respec vos 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 sofram quaisquer avarias que os prejudiquem.

Em outubro de 2018, a empresa Fugro instalou quatro inclinômetros e também nove piezômetros elétricos de corda vibrante. Entretanto, a Carta de Riscos não foi atualizada, e desta forma, nenhum destes instrumentos consta neste documento. Isso significa que sua instalação ainda não havia repercu do efeitos, pois não havia parâmetros concretos para interpretação dos resultados ob dos pela leitura destes.

Também chama a atenção um dos critérios de interpretação dos resultados indicado na Carta de Risco, sugerindo a consideração de maciço homogêneo, o que não era o caso da barragem, pois, como sabemos, tratava-se de aterro heterogêneo (grifo nosso):

Aterros heterogêneos, como o da Barragem 1, mostram ocorrência de lentes menos permeáveis em meio à massa mais permeável e fluxos transientes que afetam a distribuição das poropressões medidas em campo. No entanto, para o presente trabalho considera-se, **de maneira simplificada, o maciço homogêneo**. Por esta razão, quando da avaliação dos níveis de segurança, para os NA's medidos, deve-se tomar cuidado na interpretação dos dados.

4.2.2.1 Histórico da auscultação da Barragem B I

Segundo o documento iden ficado como “Plano de Monitoramento dos Níveis Piezométricos da Barragem I - Feijão” constante em relatório elaborado pela empresa Tecnosolo S.A. datado de 06 de março de 1998, sem iden ficação de responsável técnico, e endereçado à Ferteco Mineração S.A., a auscultação da B I naquela data era realizada por 16 piezômetros e 12 indicadores de nível.

A Carta de Risco foi atualizada pela empresa Geoconsultoria em 2006, conforme consta no Relatório Técnico VL28-RT-04 Rev2. Nele são apresentados os níveis de segurança operacional da instrumentação instalada na Barragem B I, para a cota da **crista 937 m**. A primeira versão deste relatório data de 13/12/2006. A primeira revisão data de 22/08/2007 (“Atualização e Revisão”) e a segunda revisão de 04/10/2007. Nesta segunda revisão consta que a instrumentação da B I era cons tuída por 18 marcos superficiais, 2 inclinômetros, 78 piezômetros Casagrande, 20 indicadores de nível de água, 53 drenos controlados com medição de vazão, 1 régua de medição de nível d’água no reservatório e 1 pluviômetro.

Também foi apresentado à fiscalização outro relatório técnico referente à Carta de Risco. A primeira versão deste relatório data de 02/07/2007. A primeira revisão data de 04/10/2007 (“Atualização e Revisão”). Nele são apresentados os níveis de segurança operacional da instrumentação instalada na Barragem B I para a **cota de alteamento 942m**. Neste relatório consta a mesma instrumentação de auscultação do relatório anterior.

4.2.2.2. Níveis de segurança piezométricos da Carta de Risco

Os níveis de segurança piezométricos são classificados conforme abaixo:

- **Nível Normal:** A Carta de Risco considera que o nível normal é aquele em que o valor medido dos PZ e INA está abaixo daquele determinado com análises de estabilidade para condição de $FS \geq 1,5$. Considera-se também que o NA do reservatório respeita a borda livre mínima.
- **Nível de Atenção:** O nível de atenção é aquele que o valor medido superou o valor de projeto para a condição estável da barragem, mas ainda não significa risco imediato de ruptura.
 - No caso de risco de galgamento, significa que o NA do reservatório está situado entre 1,0 m e 0,5 m da crista, sendo 1,0 m a borda livre mínima.
 - Para o caso da piezometria, corresponde ao NA dos instrumentos para FS entre 1,3 e 1,5.
 - No caso da largura da praia, significa que a mesma pode ter sido eliminada e o nível d'água pode estar encostado no talude de montante da barragem.
- **Nível de Alerta:** Nível de alerta é aquele em que o valor superou o valor de projeto para a condição estável da barragem e representa risco potencial para a ruptura da mesma.
 - No caso de galgamento, significa que o NA do reservatório está situado entre 0,5 e 0,0 m, sendo 1,0 m a borda livre mínima.
 - No caso da piezometria, significa que o NA dos instrumentos resulta em FS entre 1,1 e 1,3.
 - No caso da largura da praia, significa que a mesma foi eliminada e o nível d'água está encostado no talude montante da barragem.
- **Nível de Emergência:** Nível de emergência é aquele em que o valor superou o valor de projeto para a condição estável da barragem e representa risco iminente para a ruptura da mesma.
 - No caso de galgamento, significa que o NA do reservatório está situado entre 0,5 e 0,0 m, sendo 1m a borda livre mínima.
 - No caso da piezometria, significa que o NA dos instrumentos resulta em FS inferior a 1,1.
 - No caso da largura da praia, significa que a mesma foi eliminada e o nível d'água está encostado no talude de montante da barragem.

Segundo a Carta de Riscos, os valores definidos no projeto, que devem servir como referências para avaliação dos níveis de segurança são:

- Borda livre mínima de 1 m;
- Nível de pressão neutra para $FS = 1,5$;
- Largura da praia mínima de 150 m.

Todos os parâmetros utilizados para a construção da Carta de Risco consideravam a operação da barragem exclusivamente na condição drenada, ou seja, sem saturação do barramento. Entretanto, a linha freática estava alta. Acrescido a este fato, a drenagem insuficiente gerava saturação em parte do barramento, o que pode ser evidenciado pela ocorrência de surgências, consistente com uma condição não drenada.

A linha freática alta é citada em diversos documentos apresentados à equipe de fiscalização, dentre os quais citamos o “Cálculo do risco monitorado para barragens e diques – Barragem I – Relatório Técnico – Consolidação de dados e premissas (documento RC-SO-037/17), revisado em Maio/2018, elaborado pelo consórcio Potamos Engenharia – TÜV SÜD.

A ocorrência de surgências também é citada em diversos documentos apresentados à equipe de fiscalização. Cita-se a título de exemplificação:

1. Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-117/17, Revisão 4. de 24/08/2018, p. 12: "A existência de surgências pode também ter motivado um alteamento no ritmo menor do que o previsto no projeto inicial da Tecnosan, além do envelopamento das estruturas já executadas por meio de um alteamento por linha de centro".
2. Projeto Executivo – Alteamentos até as cotas 937 e 942 (VL28-RT-03), elaborado pela Geoconsultoria em dezembro de 2006: "Após a conclusão do 2º dique, ocorreram surgências d'água na base da barragem, explicadas pela ausência de sistema de drenagem interna no maciço da primeira etapa".

Ressalta-se também que a Carta de Risco recebeu sua última atualização em 24/01/18. Sendo assim, nos relatórios de medição da instrumentação apresentados pela Vale constam leituras de vários piezômetros (por ex PZC 41, PZC42, PZC43, PZC44, PZC 45, PZC 46 e PZC47) instalados após essa data e que, portanto, não constam na Carta de Risco.

4.2.3. Frequência de leitura dos instrumentos

O quadro 11, “Frequência recomendada para leitura dos instrumentos” lista, individualmente, os instrumentos (INA e piezômetros) que deveriam estar instalados e em operação na barragem na data do rompimento, e a frequência recomendada para suas leituras.

Quadro 11: Frequência recomendada para leitura dos instrumentos da B I

Nº. Sequencial	Instrumento	Localização		Frequência de medições (ver nota 1 e 2)				Observações
		Seção	Bermas	Q	M	B	T	
1	PZC-19B	4	871,5	x				
2	PZ3C	4	885	x				verificar profundidade
3	PZM-15	4	885	x				verificar profundidade e observar evolução
4	PZ18C	1	909	x				
5	PZ21C	3	909	x				
6	PZ23C	4	909	x				
7	PZ20C	entre 2 e 3	909	x				
8	INA-07	4	922	x				
9	INA-09	5	922	x				
10	PZ47C	1	929	x				
11	PZM-6	3	871,5		x			verificar funcionamento
12	PZC-20C	entre 3 e 4	871,5		x			
13	PZ12C	2	885		x			
14	PZC-25	5	885		x			
15	PZF-1	1	885		x			
16	PZF-19	5	885		x			
17	PZM-7	3	885		x			
18	PZM-16	entre 3 e 4	885		x			
19	PZ4C	4	890		x			verificar profundidade
20	PZC-24	2	890		x			
39	PZM-20	5	890		x			
21	PZC-21	1	893		x			
22	PZM-9	3	893		x			
38	PZM-17	4	893		x			
23	INA-06	3	899		x			
24	INA-08	4	899		x			
25	INA-17	2	899		x			
26	PZ5C	4	899		x			
27	PZ6C	4	899		x			
28	PZC-23	2	899		x			
29	PZM-22	5	899		x			
30	INA-03	2	904		x			
31	INA-21	4	904		x			
32	PZ19C-1	2	904		x			
33	PZ22C-1	3	904		x			Caso seja identificado elevação considerável no PZ21C, a leitura deverá ocorrer quinzenalmente.
34	PZ24C	4	904		x			

Fonte: Relatório Técnico VL47-RT-05 Rev. 1 Janeiro, 2018

No quadro 11 é de se destacar também orientações genéricas e subjetivas, como por exemplo: Para o piezômetro PZ22C-1 consta a seguinte orientação: “Caso seja identificado **elevação considerável** no PZ21C (sic), a leitura deverá ocorrer quinzenalmente.” (grifo nosso).

Mas não consta na Carta orientações ou parâmetros de referência objetivos sobre o que deveria ser entendido como elevação considerável, tornando sua implementação tecnicamente inexecutável ou não confiável. Divino e Fusaro (2006, apud CASTRO, op. cit.) 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.

4.2.4. Parâmetros de interpretação das leituras da instrumentação

Na tabela 6, “Variações do NA e níveis de segurança para os piezômetros e indicadores de nível de água (cota 942 m)”, são apresentados os níveis de segurança dos instrumentos, nas respectivas seções de análise, com as profundidades correspondentes aos níveis Normal, Atenção, Alerta e Emergência para a crista da barragem na cota 942 m. Estranhamente para alguns instrumentos não foram informados os níveis de alerta e emergência.

Tabela 6: Variações do NA e níveis de segurança para os piezômetros e indicadores de nível de água (cota 942 m)

Seção	Instrumentos	Berma	Cota de topo do instrumento (m)	Níveis de operação da Barragem 1 em função da leitura dos instrumentos					
				Normal (FS ≥ 1,50)	Atenção (1,30 < FS < 1,50)		Alerta (1,10 < FS < 1,30)		Emergência (FS < 1,10)
				Menor que	De	Até	De	Até	Superior a
SEÇÃO 0	INA-11	922	922,09	920,69	920,69	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-12	916	916,61	914,97	914,97	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-24	937	938,14	934,96	934,96	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-26		938,145	934,75	934,75	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-31	942	943,52	940,19	940,19	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-33		941,177	938,27	938,27	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
SEÇÃO 1	PZF 1	885	886,13	883,62	883,62	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZM 2	890	890,60	887,00	887,00	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-21	893	894,87	890,65	890,65	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ19 C - 1	904	904,47	902,54	902,54	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ17C	909	910,60	909,52	909,52	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ18C		909,50	907,53	907,53	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-01	916	916,52	913,73	913,73	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ27C		916,07	915,97	915,97	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ26C		917,42	913,95	913,95	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ37C	922	922,21	921,37	921,37	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ36C		922,20	920,00	920,00	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ47C	929	929,91	928,94	928,94	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ52C		930,71	927,38	927,38	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-25	937	938,21	934,67	934,67	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-27		938,217	934,51	934,51	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-32	942	943,42	939,78	939,78	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-34		941,259	937,82	937,82	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica

Fonte: Relatório Técnico VL47-RT-05 Rev. 1, Janeiro, 2018

4.2.5. Inconsistências nos relatórios de auscultação

Durante análise dos relatórios foram encontradas inúmeras inconsistências que demonstram não somente a desorganização do mapeamento da instrumentação como também a negligência na sua interpretação, conforme expomos a seguir.

Foram apresentadas à fiscalização somente as leituras da instrumentação realizadas entre Janeiro de 2017 e Dezembro de 2018. Apesar de no ficada três vezes²⁷, a Vale não apresentou relatórios de leitura manual dos instrumentos de Janeiro de 2019.

Destaca-se que vários piezômetros, supostamente instalados na barragem (ex. PZC20B, PZC20C, PZF23, PZM16, PZ13C), indicados no quadro 11 – “Frequência recomendada para leitura dos instrumentos”, não constam da Carta de Risco conforme indicado na tabela 6 - "Variações do NA e níveis de segurança para os piezômetros e indicadores de nível de água (cota 942 m)". Isso significa que não havia parâmetros de referência dos níveis de segurança para a interpretação da leitura destes instrumentos.

Também constam nos relatórios de leitura, resultados de medições de vários piezômetros (por ex PZC 41, PZC42, PZC43, PZC44, PZC 45, PZC 46 e PZC47) não contemplados na Carta de Risco.

Sempre que havia algum registro de oscilação discrepante do histórico, a orientação era ignorar a leitura exatamente porque não correspondia ao histórico.

A maioria dos piezômetros estava seco ou com leituras estáveis. Poucos indicavam alguma carga hidrostática. E outros poucos indicaram carga excessiva. Consta no relatório:

De forma geral, verifica-se que a maioria dos instrumentos locados no maciço do 9º e 10º alteamentos apresenta-se secos desde a instalação, a principal razão pode ser a manutenção da praia que afasta o nível de água da crista da barragem. Os instrumentos localizados a jusante do filtro nos alteamentos 6º a 8º também se encontram secos desde a instalação.

Desta forma, não podemos afirmar que as leituras indicavam a real condição de saturação da barragem.

Consta na planilha das medições indicação de dois instrumentos (PZC-39, seção 6) e INA-36 (Seção 5), ambos na berma 942, com indicação jorrante em 31/10/2018. As demais medições destes instrumentos, anteriores e posteriores, indicam seco. Leitura errada? Seria coincidência a leitura errada na mesma berma e no mesmo dia?

A Carta de Risco indica, incorretamente que o mesmo piezômetro PZ19C-1, conforme pode-se verificar na figura 87, está instalado em duas seções diferentes (seções 1 e 2):

²⁷No ficções para Apresentação de Documentos (NAD) números: 350508-280119-01, 352543-010219-01 e no ficção enviada por email em 22 de fevereiro de 2019

Figura 87: Inconsistência quanto à localização Piezômetro PZ19C-1 e os níveis de segurança

SEÇÃO 1	PZF 1	885	886,13	883,82	883,82	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZM 2	890	890,80	887,00	887,00	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-21	893	894,87	890,65	890,65	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ19 C - 1	904	904,47	902,54	902,54	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ17C	909	910,60	909,52	909,52	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ18C		909,50	907,53	907,53	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -01	916	916,52	913,73	913,73	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ27C		916,07	915,97	915,97	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ28C		917,42	913,95	913,95	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica

Seção	Instrumentos	Berma	Cota de topo do instrumento (m)	Normal (FS≤1,50)	Atenção (1,50<FS≤1,30)		Alerta (1,30<FS≤1,10)		Emergência (FS≤1,10)
				Menor que	De	Até	De	Até	Superior a
SEÇÃO 2	PZ12C	885	883,77	880,09	880,09	881,05	881,05	889,93	889,93
	INA-22	890	890,87	885,00	885,00	886,17	886,17	888,95	888,95
	PZC-24		891,01	884,35	884,35	885,26	885,26	888,25	888,25
	INA-23	893	894,40	SECO	SECO	889,31	889,31	891,6	891,6
	INA-17	899	896,89	896,13	896,13	897,54	897,54	897,67	897,67
	PZC-22		899,69	889,60	889,60	893,43	893,43	896,08	896,08
	PZC-23		899,62	889,47	889,47	893,21	893,21	895,81	895,81
	PZ19 C - 1	904	904,47	901,48	901,48	902,68	902,68	902,68	902,68
	INA -03		905,38	902,87	902,87	903,93	903,93	903,93	903,93
	PZ20C		909,57	907,82	907,82	908,30	908,30	908,3	908,3
	PZ30C	916	917,55	916,18	916,18	916,18	916,18	916,18	916,18
	INA -02		916,65	915,46	915,46	915,59	915,59	915,59	915,59
	PZ29C		916,10	914,47	914,47	914,66	914,66	914,66	914,66
	PZ39C	922	922,42	920,20	920,20	920,56	920,56	920,56	920,56
	PZ40C		922,41	921,38	921,38	921,66	921,66	921,66	921,66
	PZ48C	929	929,30	929,09	929,09	929,27	929,27	929,27	929,27
	INA -26	937	938,33	935,43	935,43	935,80	935,80	935,8	935,8
	INA -33	942	943,53	940,07	940,07	940,64	940,64	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-35		941,162	938,49	938,49	941,64	941,64	Não se Aplica	Não se Aplica
SEÇÃO 3	PZM 6	871,5	872,28	868,77	868,77	869,58	869,58	870,79	870,79
	PZM 7	885	885,94	878,66	878,66	881,15	881,15	882,27	882,27
	PZM 9	893	893,73	885,88	885,88	888,39	888,39	890,59	890,59
	PZM 10	899	898,96	SECO	SECO	891,37	891,37	894,22	894,22

Instrumentos	Berma	Cota de topo do instrumento (m)	Níveis de operação da Barragem 1 em função da leitura			
			Normal (FS≤1,50)	Atenção (1,50<FS≤1,30)		Alerta (1,30<FS≤1,10)
			Menor que	De	Até	De
PZ19 C - 1	904	904,47	902,54	902,54	Não se Aplica	Não se Aplica
PZ19 C - 1	904	904,47	901,48	901,48	902,68	902,68

Fonte: Relatório Técnico VL47-RT-05 Rev. 1 Janeiro, 2018

Sobre os piezômetros instalados na fundação, num total de 17, tecemos os seguintes comentários:

- Quatro apresentaram resultado “SECO” em todas as medições de DEZ/2017 a DEZ/2018 (PZF-1, PZF-19, PZM-06 e PZM-02) , um mês antes do rompimento.
- Um piezômetro (PZF-5) apresentou resultado “SECO” somente entre DEZ/2017 a ABR/2018. Entre MAI/2018 e OUT/2018 apresentou nível piezométrico entre 869,929 e 871,459. Depois de OUT/2018 não há registro de medição neste piezômetro.
- Nos relatórios de medição consta a leitura de piezômetro PZC-41, porém este instrumento não consta na Carta de Risco .
- Em um dos relatórios (2017) constam informações de instrumentos “Destruídos”, “Danificados”, “Não encontrados”, “Tampa Danificada”, “Obstruído”, dentre outras irregularidades, sendo indicados dez piezômetros destruídos, sete não encontrados, um danificado (quadro 12).

Quadro 12: Instrumentos sem medições

Código do Instrumento	Tipo de Instrumento	Subtipo de Instrumento	Tipo de Coleta	Situação da Medição	Observação	Data de Medição	leza
PZ - 5C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	destruído	01/02/2017 09:00	
PZ - 5C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	DESTRUÍDO	02/03/2017 09:00	
PZ - 44C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	NÃO ENCONTRADO EM CAMPO	02/08/2017 10:00	
PZ - 5C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	DESTRUÍDO	02/08/2017 10:00	
PZ - 5C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	DESTRUÍDO	03/04/2017 09:00	
PZ - 44C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	NÃO ENCONTRADO	03/07/2017 09:00	
PZ - 47C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Realizada	NÃO ENCONTRADO	03/07/2017 09:00	Niv
PZ - 5C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	DESTRUÍDO	03/07/2017 09:00	
PZ - 5C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	destruído	05/05/2017 10:00	
PZ - 44C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	NÃO ENCONTRADO EM CAMPO	05/10/2017 10:00	
PZ - 5C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	DESTRUÍDO	05/10/2017 10:00	
PZ - 44C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	Tampa presa.	06/01/2017 10:00	
PZ - 44C	Piezômetro	Casagrande	Automatizada	Não Realizada	Não encontrado	06/06/2017 09:00	

Fonte: Arquivos apresentados pela Vale S.A em cumprimento à notificação NAD 20190201 350508-280119-01, item 16: _Email_Medidas dos piezômetros- 20190210T113739Z-001

Há piezômetros com indicação de “não encontrado” durante alguns meses em 2017 (PZ 44C, 5 meses e PZ47C, 2 meses) mas com medição em 2018. Pode ter havido a troca do instrumento, porém tal procedimento não foi informado.

O piezômetro CFJB1PZ032 não foi encontrado para avaliação, desde junho 2017.

Há piezômetro com indicação de “destruído” durante 10 meses em 2017, mas com leituras em 2018 (PZ 5C). Pode ter havido a troca do instrumento, porém tal procedimento não foi informado.

Outra inconsistência diz respeito ao piezômetro PZC-30, que possui nível superior para nível de atenção, maior que o nível inferior do nível de alerta, como mostra a figura 88.

Figura 88: Níveis de Operação da Barragem I em função da leitura dos instrumentos - Inconsistência níveis do Piezômetro PZC-30

Seção	Instrumentos	Berma	Cota de topo do instrumento (m)	Níveis de operação da Barragem I em função da leitura dos instrumentos					
				Normal (FS≤1,50)	Atenção (1,50<FS≤1,35)		Alerta (1,35<FS≤1,10)		Emergência (FS<1,10)
				Menor que	De	Até	De	Até	Superior a
	INA-21	904	905,62	898,34	898,34	903,11	903,11	903,85	903,85
	PZ24C		905,29	898,22	898,22	902,55	902,55	903,38	903,38
	PZ23C	909	911,55	909,10	909,10	909,24	909,24	910,61	910,61
	PZ33C	916	916,47	SECO	SECO	914,29	914,29	915,36	915,36
	PZ34C		917,95	916,15	916,15	916,21	916,21	916,96	916,96
	INA-07	922	922,32	919,16	919,16	920,70	920,70	921,65	921,65
	PZ43C		922,94	SECO	SECO	919,75	919,75	920,83	920,83
	PZ44C		922,84	920,09	920,09	920,97	920,97	921,85	921,85
	PZ50C	929	929,55	924,48	924,48	928,87	928,87	929,51	929,51
	INA -28	937	938,28	931,68	931,68	934,58	934,58	935,77	935,77
	PZC-30		938,30	931,22	931,22	934,58	934,29	935,6	935,6

Fonte: Relatório Técnico VL47-RT-05 Rev. 1 Janeiro, 2018

Vemos também que há um erro no uso do sinais “maior que, menor que, maior ou igual, menor ou igual” na determinação dos níveis de segurança Normal, Atenção, Alerta e Emergência conforme figura 89.

Figura 89 : Níveis de Operação da Barragem 1 em função da leitura dos instrumentos - Erros nos sinais

Níveis de operação da Barragem 1 em função da leitura dos instrumentos			
Normal (FS ≥ 1,50)	Atenção (1,50 < FS ≤ 1,30)	Alerta (1,30 < FS ≤ 1,10)	Emergência (FS < 1,10)

Fonte: Relatório Técnico VL47-RT-05 Rev. 1 Janeiro, 2018

Foram apresentados à fiscalização dados das medições dos instrumentos não automatizados realizadas entre 6/12/2017 até 13/12/2018.

Também foram apresentadas as medições dos instrumentos automatizados realizadas pela TÜV SÜD de setembro de 2018 até o dia do rompimento. Os dados obtidos eram posteriormente inseridos no sistema que gerava os gráficos. As leituras dos instrumentos não automatizados referentes ao mês de janeiro de 2019 até a data do rompimento, caso tenham sido realizadas, não foram encaminhadas à equipe de fiscalização.

Finalmente, acrescenta-se que os relatórios de “Análise de Performance Periódica da Barragem” elaborados em 2018 citam a Portaria 416/2012 do então DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral - como referência para a determinação da Categoria de Risco da barragem, portaria essa que foi revogada pela Portaria nº 70.389 de 17 de maio de 2017, que alterou os procedimentos para determinação da categoria de risco.

4.2.6. Monitoramento por radar

A Auditoria Fiscal do Trabalho não ficou a Vale para o comparecimento, à Superintendência Regional do Trabalho/MG, do Senhor Tércio Andrade Costa, operador de radares interferométricos da Vale, entre os quais um radar instalado na barragem B I.

Apesar de regularmente notificada, a Vale informou que o Senhor Tércio não iria comparecer para prestar esclarecimentos. Em que pese o seu não comparecimento, a Auditoria Fiscal do Trabalho teve acesso às notas taquigráficas da “Reunião Deliberativa Ordinária da Comissão Parlamentar de Inquérito da Câmara dos Deputados destinada a investigar as causas do rompimento da barragem de mineração Mina Córrego do Feijão”, ocorrida em 14 de Maio de 2019, na qual prestou depoimento, entre outros convocados.

Em seu depoimento informou que sua função na Vale, nos últimos cinco anos, é operar radares e que por ocasião do rompimento da B I operava 4 radares entre os quais o radar que estava e ainda está monitorando a B I. Estes radares têm como função monitorar a movimentação das estruturas num raio de até quatro quilômetros e que o radar que monitorava a B I estava a cerca de 800 metros da barragem.

Segundo o depoente o radar na B I foi instalado no início de março de 2018 e cerca de sete dias depois, aproximadamente no dia 8 de março, já foi possível identificar algumas variações na leitura. Esta informação foi encaminhada à Eng.^a Cris na Malheiros e ao Eng.^o César Grandchamps, a quem caberia fazer as interpretações dos dados, visto ser ele apenas um técnico que não tem capacidade para fazê-las e encaminhar possíveis soluções.

Segundo ainda o senhor Tércio, o Engenheiro César Grandchamps, após receber o e-mail informando sobre as citadas variações, respondeu-lhe também por e-mail nos seguintes termos: “devagar que o andar é de barro, o santo é de barro”. (SIC)

Relatou o depoente que na medida em que o tempo foi passando, foi possível identificar outras áreas (com variações) pequenas em torno de 200, 400 e 500 metros quadrados e também identificar outras áreas da estrutura com variações. Estas variações eram reportadas mensalmente à Eng.^a Cris na Malheiros, Eng.^o César Grandchamps e Sra. Andréa Dornas.

Relatou que em 18 de janeiro de 2019 observou que o radar identificou uma variação em uma área bem maior de cerca de 1,5 hectare (aproximadamente 15 mil metros quadrados), abrangendo as áreas 2, 3, 4, 5, 14, 15, 16 e 17 e que o radar mostrava claramente uma deformação positiva gradual e constante na B I desde novembro de 2018, indicando uma mudança de comportamento da estrutura que até então vinha mostrando variações menores de 200, 300 e 400 metros quadrados.

Também chamou sua atenção uma variação na amplitude do sinal. “Isso é outra variável do equipamento. Essa variação na amplitude de sinal eu traduziria para V.Exa. da seguinte forma: o equipamento emite uma onda com uma determinada potência de onda; essa onda vai até o talude, tem uma perda de potência, vamos dizer assim, e retorna ao equipamento. É como se fosse essa luz. Essa luz está indo até a parede; a parede está refletindo somente o verde, que é o que a gente enxerga. Se essa parede mudar de cor, alguma coisa aconteceu: o tecido desbotou, iniciou-se um incêndio, alguma coisa aconteceu. Compara vamente ao radar, quando existe uma mudança na amplitude de sinal, a gente pode, do ponto de vista de operação do equipamento... O meu alvo teve alguma alteração. Quais alterações podem ser possíveis à mudança de amplitude de sinal? Cresceu uma vegetação, e essa vegetação está amortecendo a onda que vai e volta? Segunda situação: esse material da estrutura teve uma modificação na umidade dele? Por quê? Sabemos nós que a micro-onda é totalmente absorvida pela água. Então, quando eu irradio alguma coisa que tem líquido, esse líquido absorve a micro-onda, e ela não retorna. Então, se eu vejo uma redução nesse retorno da micro-onda, pode ser que houve...”.

Relatou que informou as alterações do radar de janeiro a seus superiores (entre os quais Marcos Domingues, Artur Ribeiro, Andréa Dornas e Renzo Albieri). Não encaminhou e-mail para a Eng.^a Cris na Malheiros, pois ela teria migrado para outra função.

Informou que cerca de três horas depois de encaminhar o e-mail, apenas o Senhor Artur Ribeiro respondeu comentando que outros instrumentos da barragem estavam dentro da normalidade. Desta forma o Senhor Tércio entendeu que as variações por ele informadas talvez estivessem dentro da normalidade, pois não tem capacidade técnica para interpretar os sinais, cabendo a ele apenas informar as variações detectadas pelo equipamento.

Faça estas informações evidencia-se mais uma vez que a B I apresentava deformações captadas pelo radar, desde sua instalação, em março de 2018.

4.3. Anomalias da Barragem I

Pela análise da documentação da barragem B I, especialmente os Relatórios de Inspeções de Segurança Regulares - RISR, as Fichas de Inspeções Regulares – FIR e o Relatório de Anomalias, todos do período de janeiro de 2015 a janeiro de 2019, constata-se que muitos problemas apresentados na estrutura se repe am ano após ano. Além disso, muitas anomalias detectadas só foram sanadas após o decurso de um longo prazo, caracterizando, desta forma, um certo descaso com a conservação do barramento.

De forma a demonstrar essa falta de cuidado com a adequada conservação da barragem foi realizada a compilação de todas as irregularidades/anomalias detectadas nas FIR, no período de 2015 a 2019, o que pode ser verificado no quadro 13.

Como é possível observar, de 99 fichas de inspeções regulares analisadas, em 89 (90%) foi relatado pelo menos algum po de problema no sistema de drenagem superficial; em 52 (52,5%) inspeções foram detectadas anomalias referentes a vegetação alta ou com arbusto em alguma região da barragem; em 57 (57,5%) inspeções houve a detecção de animais e/ou insetos (gado bovino, cupins e formigas) na estrutura do barramento, sendo que em 35 foram referenciados bovinos sobre a barragem.

Nesse período (2015-2019), 17 inspeções relataram algum po de surgência/umidade no talude de jusante do barramento, mas o que chama mais a atenção é que 16 delas foram relatadas no ano de 2018 (irregularidade em 67% das inspeções realizadas no ano de 2018).

Outro ponto que merece destaque é em relação às anomalias que dizem respeito ao lançamento de rejeito e formação de praia: 19 inspeções relataram algum problema nesse tema. Todavia, vale ressaltar que todos ocorreram no ano de 2015 (79% das inspeções no ano de 2015), ou seja, pra camente em todo período analisado em que a B I ainda recebia rejeito, havia problemas no lançamento de rejeitos e/ou formação de praia.

Outras anomalias que também foram bastante recorrentes na B I eram rela vas a problemas no extravasor do barramento ou no bombeamento de água do lago para o sistema extravasor, que ocorreram 42 vezes (42% dos casos); e recalques, deformações, trincas e/ou erosões no talude do barramento, sendo relatadas 44 vezes (44,5%) nas FIR.

Quadro 13: Principais anomalias de 2015 a 2019

Inspeção Quinzenal			Principais Problemas Encontrados									
Ano	Quinzena	data	Problema em canaletas / drenagem superficial	Vegetação alta / arbusto	Formigueiros / cupins	Gado	Surgências / Umidade	Problemas em drenagem interna	Lançamento de rejeito / formação de praia	Problema no extravasor / bombeamento lago	Recalques / deformações / trincas / erosões no talude	Outros (descrever)
2015	1	12/jan	S						S			
2015	2	30/jan	S						S			
2015	3	12/fev	S						S			
2015	4	27/jan	S						S			
2015	5	17/mar	S						S			
2015	6	26/mar	S						S			
2015	7	14/abr	S						S			
2015	8	23/abr	S						S			
2015	9	14/mai	S						S			
2015	10	27/mai	S						S			
2015	11	12/jun	S	S					S			
2015	12	26/jun	S						S			
2015	13	13/jul	S	S		S		S	S			Não há acesso para veículos pesados na região do extravasor
2015	14	29/jul	S	S		S		S	S			Não há acesso para veículos pesados na região do extravasor
2015	15	05/ago	S	S		S		S	S			
2015	16	31/ago	S	S		S		S	S			
2015	17	17/set	S	S		S	S	S	S			
2015	18	30/set	S	S		S		S	S	S		
2015	19	15/out	S	S		S			S	S	S	
2015	20	27/out	S	S		S				S	S	
2015	21	17/nov	S	S		S				S	S	
2015	22	23/nov	S	S							S	
2015	23	10/dez	S	S		S					S	
2015	24	29/dez	S	S		S					S	
2016	1	12/jan	S	S	S						S	
2016	2	26/jan	S	S	S						S	
2016	3	11/fev	S	S	S						S	
2016	4	29/fev	S	S	S						S	
2016	5	14/mar	S		S						S	
2016	6	30/mar	S		S						S	
2016	7	14/abr	S		S						S	
2016	8	27/abr	S		S						S	
2016	9	13/mai	S		S						S	
2016	10	27/mai	S								S	
2016	11	06/jun	S								S	
2016	12	22/jun	S								S	
2016	13	04/jul	S	S							S	
2016	14	18/jul	S	S	S	S					S	
2016	15	01/ago	S	S	S	S					S	
2016	16	15/ago			S	S		S			S	
2016	17	29/ago			S	S		S			S	

Inspeção Quinzenal			Principais Problemas Encontrados									
Ano	Quinzena	data	Problema em canaletas / drenagem superficial	Vegetação alta / arbusto	Formigueiros / cupins	Gado	Surgências / Umidade	Problemas em drenagem interna	Lançamento rejeito / formação de praia	Problema no extravasor / bombeamento lago	Recalques / deformações / trincas / erosões no talude	Outros (descrever)
2016	18	26/set	S		S	S		S				
2016	19	10/out	S					S				
2016	20	24/out										
2016	21	07/nov								S		PZs obstruídos
2016	22	21/nov								S		PZs obstruídos
2016	23	s/ inf.										
2016	24	19/dez		S								
2017	especial	03/jan		S							S	
2017	1	17/jan	S	S	S						S	
2017	2	30/jan	S	S	S						S	
2017	3	13/fev	S	S	S						S	
2017	4	23/fev	S	S	S						S	
2017	5	09/mar	S	S	S						S	
2017	6	23/mar	S	S	S						S	
2017	7	05/abr	S	S								
2017	8	19/abr	S	S								
2017	9	03/mai	S	S						S		
2017	especial	17/mai	S	S						S		
2017	10	31/mai	S	S						S		
2017	11	13/jun	S	S	S					S	S	Falha no revestimento vegetal do talude
2017	12	27/jun	S	S	S					S	S	Falha no revestimento vegetal do talude
2017	13	11/jul	S	S						S	S	
2017	14	25/jul	S	S						S	S	
2017	15	08/ago	S	S						S	S	
2017	16	22/ago	S	S						S	S	
2017	17	05/set	S							S		
2017	18	19/set	S							S		
2017	19	03/out	S			S				S		
2017	20	17/out	S			S				S		Falha no revestimento vegetal do talude
2017	21	13/nov	S			S				S		Falha no revestimento vegetal do talude
2017	22	28/nov	S			S		S		S		Falha no revestimento vegetal do talude
2017	23	11/dez				S				S		
2017	24	22/dez				S				S		

Inspeção Quinzenal			Principais Problemas Encontrados									
Ano	Quinzena	data	Problema em canaletas / drenagem superficial	Vegetação alta / arbusto	Formigueiros / cupins	Gado	Surgências / Umidade	Problemas em drenagem interna	Lançamento rejeito / formação de praia	Problema no extravasor / bombeamento lago	Recalques / deformações / trincas / erosões no talude	Outros (descrever)
2018	1	05/jan	S			S				S	S	
2018	2	19/jan	S			S				S	S	
2018	3	02/fev	S			S				S	S	Falha no revestimento vegetal do talude
2018	especial?	05/fev	S			S				S	S	Falha no revestimento vegetal do talude
2018	4	19/fev	S	S			S			S	S	
2018	5	02/mar	S	S		S	S	S		S		
2018	6	s/ inf										
2018	7	04/abr	S	S			S			S		Aumento considerável da vazão
2018	8	18/abr	S	S			S	S		S		Aumento considerável da vazão
2018	9	04/mai	S	S						S		
2018	10	18/mai	S	S						S		
2018	11	06/jun	S				S	S				
2018	12	19/jun	S	S			S					Falha no revestimento vegetal do talude
2018	13	04/jul	S	S			S					Falha no revestimento vegetal do talude
2018	14	18/jul	S	S			S					Falha no revestimento vegetal do talude
2018	15	07/ago	S	S			S					Falha no revestimento vegetal do talude
2018	16	24/ago	S	S		S	S			S		Falha no revestimento vegetal do talude
2018	17	11/set	S	S		S	S			S		Falha no revestimento vegetal do talude

Inspeção Quinzenal			Principais Problemas Encontrados									
Ano	Quinzena	data	Problema em canaletas / drenagem superficial	Vegetação alta / arbusto	Formigueiros / cupins	Gado	Surgências / Umidade	Problemas em drenagem interna	Lançamento de rejeito / formação de praia	Problema no extravasor / bombeamento lago	Recalques / deformações / trincas / erosões no talude	Outros (descrever)
2018	18	25/set	S	S		S	S			S		Falha no revestimento vegetal do talude
2018	19	10/out	S			S	S			S	S	
2018	20	24/out	S			S	S			S		
2018	21	08/nov	S				S			S		
2018	22	20/nov				S						
2018	23	07/dez	S				S			S	S	
2018	24	21/dez	S									
2019	1	08/jan	S			S				S	S	
2019	2	22/jan	S			S				S		

4.3.1. Arbustos e vegetação no barramento:

As figuras 94 e 95 seguintes foram retiradas do documento intitulado “Relatório de Anomalias B I” do período de 01/01/2015 a 31/01/2019 e demonstram situações de anomalias identificadas na barragem B I.

Figura 90: Arbustos no talude



Figura 91: Vegetação alta obstruindo a canaleta de drenagem



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 92: Vegetação alta no pé do talude



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 93: Vegetação arbus va no talude de montante e dentro do reservatório



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 94: Obstrução de canaleta por vegetação



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 95: Vegetação arbus va no talude do barramento e dentro das canaletas de drenagem



Fonte: Relatório de Anomalias B I

4.3.2. Surgências e umidade no barramento

Figura 96: Surgência no talude principal com carreamento de material



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 97: Surgência no talude do barramento



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 98: Surgência de água no talude junto à canaleta



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 99: Surgências de água no talude principal



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 100: Surgência de água no entorno da saída de Dreno Horizontal Profundo



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 101: Surgência de água no talude principal próximo à saída de DHP



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 102: Surgência de água no talude próximo à canaleta de drenagem, que está assoreada



Fonte: Relatório de Anomalias B I

4.3.3. Problemas na drenagem superficial e interna

Figura 103: Canaleta assoreada e danificada pela ação de gado



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 104: Canaleta de drenagem constantemente assoreada e acumulando água



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 105: Canaleta de drenagem superficial assoreada



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 106: Drenagem superficial da barragem obstruída com acúmulo de água na crista do barramento



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 107: Drenagem superficial da barragem obstruída com acúmulo de água na crista do barramento



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 108: Drenagem superficial inadequada causando acúmulo de água no pé do barramento e formação de erosão



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 109: Canaleta de drenagem superficial danificada por pisoteamento de gado e assoreada com acúmulo de água



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 110: Canaleta de drenagem superficial parcialmente obstruída por lama



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 111: Canaleta de drenagem superficial assoreada



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 112: Canaleta de drenagem superficial assoreada com acúmulo de água



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 113: Drenagem superficial inadequada com formação de poças na crista do barramento



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 114: Carreamento de material (colóide) na saída do dreno



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 115: Saída de sedimento pelo DHP



Fonte: Relatório de Anomalias B I

4.3.4. Pontos de erosão, ravinas e deformações no maciço

Figura 116: Deformação no talude acima de uma canaleta de drenagem superficial



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 117: Erosão (ravina) no talude do barramento



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 118: Erosão causada por vazamento de água da tubulação de drenagem que foi danificada por gado



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 119: Erosão no acesso à barragem



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 120: Erosão (ravina) no talude



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 121: Ravinas na ombreira direita do talude



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 122: Erosão no pé da barragem devido a drenagem inadequada



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 123: Formação de erosão no pé da barragem devido a drenagem superficial irregular



Fonte: Relatório de Anomalias B I

4.3.5. Presença de animais no barramento

Figura 124: Presença de animais de grande porte no talude do barramento



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 125: Gado no talude do barramento



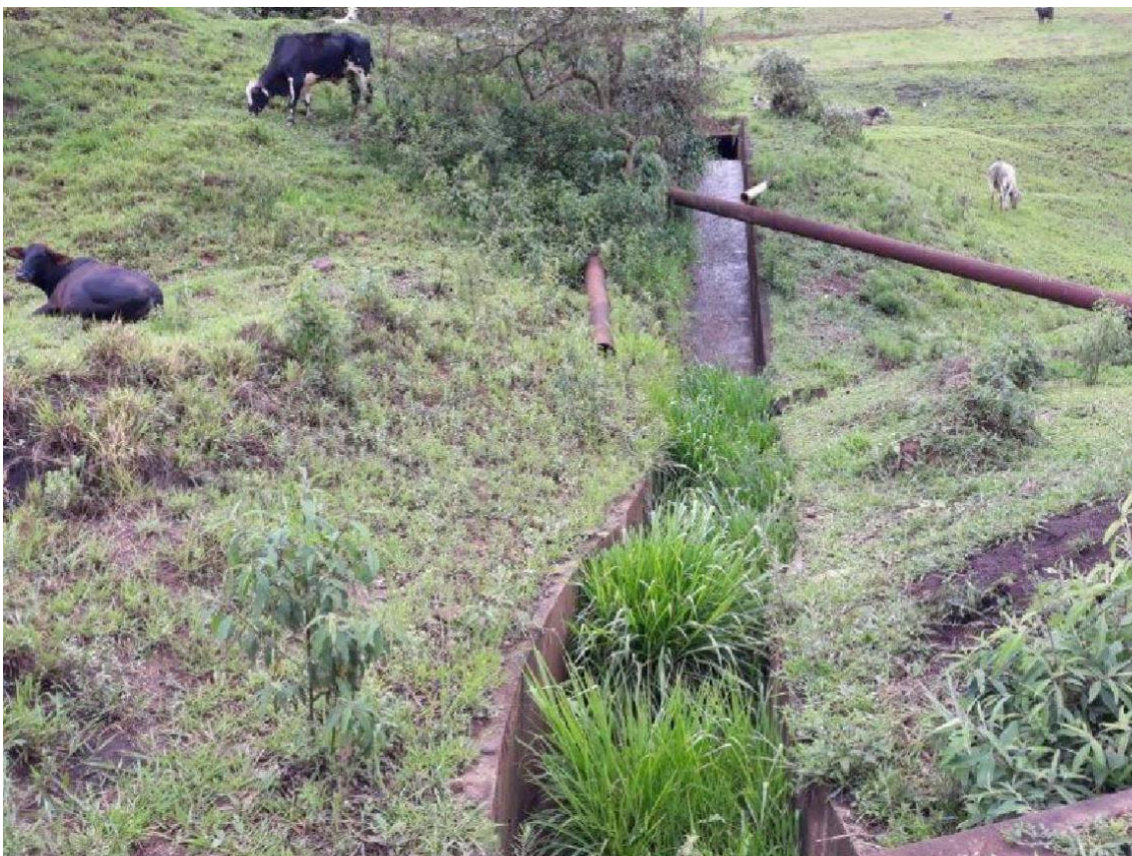
Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 126: Presença de gado no talude do barramento



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 127: Canal de drenagem superficial parcialmente obstruído pela vegetação e presença de gado no talude



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 128: Formigueiros e cupinzeiros no barramento



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 129: Formação de cupinzeiros no barramento



Fonte: Relatório de Anomalias B I

4.3.6. Problemas com bombeamento de água do lago

Figura 130: Bombeamento não funcionando com formação de lago no reservatório



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 131: Bomba de água inoperante com formação de lago no reservatório da barragem



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Figura 132: Bomba de água inoperante com formação de lago no reservatório da barragem



Fonte: Relatório de Anomalias B I

Parte III:

Análise dos possíveis fatores causais do rompimento da Barragem I

Capítulo 1: Liquefação da Barragem I

1.1. Introdução



Fonte: Vale

Dentre os modos de ruptura de barragem de rejeitos mais apontados pela literatura destacam-se: galgamento, instabilização, erosão interna (*piping*) e liquefação.

A análise dos documentos técnicos da barragem em conjunto com as entrevistas de profissionais da área geotécnica e as imagens do momento da ruptura fornecidas à Auditoria Fiscal pela Vale, nos permitem concluir que a ruptura da B I foi por liquefação. Em função disso, nossa análise passa a se dedicar apenas a este modo de ruptura.

1.2. Liquefação

De acordo com Galvão Sobrinho (op. cit.), a liquefação pode ser 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 do 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 poropressão e, como consequência, uma ação vertical contribuirá para redução das tensões de cisalhamento, e o rejeito poderá se liquefazer.

Segundo ainda o autor, 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 a montante seja descartado.

As barragens alteadas pelo método a 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 antecipação e ocorrência súbita, isto é, sem aviso prévio** (OLIVEIRA, 2014)²⁸.

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)²⁹:

... 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 consequentemente 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 a montante.

²⁸OLIVEIRA, 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

²⁹Caputo, H.P. Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos. 5. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: LTC, 1988. v. 1 219 p.

1.3. Estudos elaborados sobre liquefação em ordem cronológica e por empresas consultoras

Desde 2015 foram produzidos, por empresas diversas, vários estudos sobre a probabilidade de liquefação da B I, relacionados no quadro 14. Em seguida apresentamos uma breve análise sobre cada um deles.

Quadro 14: Estudos sobre a liquefação da B I

Data	Empresa consultora	Documento
08/12/2015	Pimenta de Ávila Consultoria Ltda	ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA RD-654-RL-41070-00.
15/07/2016	Geoconsultoria	BARRAGEM B I - ESTUDOS DE LIQUEFAÇÃO ANÁLISES DE ESTABILIDADE. Documento VL47-RT-04-Revisão 1.
26/07/2016	Geoconsultoria	ESTUDO DE LIQUEFAÇÃO ESTÁTICA – BARRAGEM B I – CÓRREGO DO FEIJÃO – ANÁLISE DE ESTABILIDADE. Documento VL47MC01-R0.
20/12/2016	Geoconsultoria	BARRAGEM B I - ESTUDOS DE LIQUEFAÇÃO ENSAIOS DE LABORATÓRIO. Documento VL47-RT-08-Revisão 0.
02/03/2017	Geoconsultoria	RELATÓRIO TÉCNICO COMUM / GERAL BARRAGEM B I AVALIAÇÃO TÉCNICA COMPLEMENTAR – ANÁLISE DE ESTABILIDADE SOB CARREGAMENTO NÃO DRENADO. Documento VL55-RT-31-Revisão 0.
24/10/2017	Potamos E TÜV SÜD	CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO PARA BARRAGENS E DIQUES BARRAGEM I - RELATÓRIO TÉCNICO ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM . Documento Potamos Nº POTVAL02G2-1-TC-RTE-0019 e documento TÜV SÜD BUREAU Nº RC-SP-057/17. Revisão 0; NOTA TÉCNICA DISCUSSÃO SOBRE OS ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO. Documento Potamos Nº POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067. Revisão 0.
24/08/2018	TÜV SÜD	REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO. Documento Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17. Revisão 4.

1.3.1. Documento Pimenta de Ávila RD-654-RL-41070-00

Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem I - Revisão 0, 08/12/2015 – Empresa Consultora: Pimenta de Ávila Consultoria Ltda.

A questão da necessidade de uma análise de liquefação da B I foi levantada inicialmente no RISR elaborado pela empresa Pimenta De Ávila Consultoria Ltda., em agosto de 2015.

A par r disso, a própria consultora, em 18/12/2015, realizou um estudo de liquefação da barragem denominado GRG – Gestão De Riscos Geotécnicos Relatório Técnico - Análise Da Probabilidade De Ruptura Da Barragem I, nº contratada RD-654-RL-41070-00, revisão 0.

Inicialmente foi esclarecido que os dados disponíveis para a realização do estudo do potencial de liquefação do rejeito depositado na B I, a par r da metodologia de Olson (op.

cit.), foram provenientes de sondagens percussivas e ensaios CPTu realizados durante a campanha de investigações geológico-geotécnicas, em 2005, no projeto de alteamento da barragem (El. 937,00 m a 942,00 m), desenvolvido pela empresa Geoconsultoria.

A seguir, informou que o estudo de falha por liquefação abordou aspectos da avaliação dos potenciais ganhos para a liquefação e as análises de estabilidade probabilística a partir dos métodos de FOSM, Rosenblueth e Monte Carlo, e a análise de liquefação pelo Método de Olson (Op. cit.).

O texto, nas páginas 87-88, ainda esclarece sobre o que é a liquefação, o tipo de material suscetível ao fenômeno e como este pode ser avariado por meio de ganhos estáticos e dinâmicos. A seguir reproduzimos trechos do documento relacionado ao tema.

A liquefação é um fenômeno que ocorre em solos sem coesão, contrácteis e saturados quando submetidos a carregamentos suficientemente rápidos, gerando um grande acréscimo das poropressões com a consequente redução das tensões efetivas e da resistência ao cisalhamento (Freire Neto, 2009).

Em relação ao tipo de material, rejeitos areno-siltosos são suscetíveis à liquefação devido à natureza não plástica dos finos presentes (Freire Neto, 2009). Segundo Terzaghi et al. (1996), areias finas limpas e areias siltosas, contendo menos que 5% de finos passando na peneira 200, são as mais suscetíveis à liquefação (Terzaghi et al., 1996).

A liquefação pode ser avariada tanto por carregamentos dinâmicos (terremotos, explosões, vibrações por tráfego de equipamentos) quanto por carregamentos estáticos. Davies et al. (2002) citado por Freire Neto (2009) apresentam os seguintes potenciais ganhos para a liquefação estática em barragens de rejeitos:

- Aumento das poropressões induzido por uma subida rápida da superfície freática;
- Aumento das poropressões induzido por uma taxa de carregamento excessiva, como por exemplo, devido a um rápido alteamento da barragem;
- Tensões cisalhantes estáticas atuantes ultrapassando a superfície de colapso, levando a uma liquefação espontânea;
- Remoção da camada de suporte posicionada no pé da estrutura, promovida por galgamento da barragem ou por qualquer outra situação, aumentando as tensões cisalhantes atuantes;
- Movimento da fundação rápido o suficiente para criar um carregamento não drenado em rejeitos suscetíveis ao colapso espontâneo.

No item 12.4 do documento é abordada a susceptibilidade à liquefação empregando a metodologia de Olson (op. cit.), com análises realizadas no programa Slide 6.0 e utilização do método de equilíbrio limite de Spencer.

Define as seguintes etapas da metodologia, conforme trecho abaixo extraído do documento:

Destaca-se que, antes da realização das análises de estabilidade propriamente ditas, foram aplicadas as seguintes etapas da metodologia:

- Análise da Susceptibilidade à Liquefação:
 - Definição dos valores corrigidos de resistência à penetração dos ensaios de SPT e CPTu;
 - Definição da envoltória dos solos contrácteis e dilatantes com base na proposta de Fear e Robertson (1995);
 - Setorização das camadas suscetíveis à liquefação, definição do valor de $(N_1)_{60}$ característico das camadas e determinação do valor da relação $S_{u(pico)}/\sigma'_{vo}$ com base na equação proposta por Olson (2001).
- Análise do Gargalo da Liquefação:
 - Realização de análises de estabilidade até se obter uma superfície crítica com $FS = 1,00$;
 - Cálculo dos valores de pico $S_{u(pico)}$ (resistência de pico) e τ_d (tensão cisalhante);
 - Obtenção dos fatores de segurança do gargalo para cada lamela a partir da divisão da resistência de pico pela tensão cisalhante.

Seguindo as etapas acima descritas, o documento apresenta a tabela 7 com as razões de resistência de pico, com a setorização das camadas suscetíveis à liquefação e determinação do valor da relação $S_{u(pico)}/\sigma'_{vo}$.

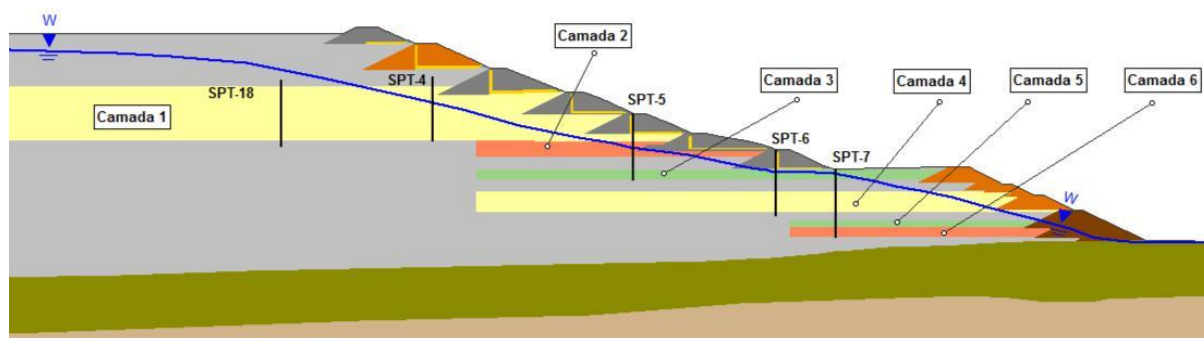
Tabela 7: Razões de Resistência de Pico ($S_{u(pico)}/\sigma'_{vo}$)

Camada	$N_{1,60}$	$S_{u(pico)}/\sigma'_{vo}$		
		Linha média	(+0,04)	(-0,04)
1	4,9	0,242	0,282	0,202
2	4,4	0,238	0,278	0,198
3	8,7	0,270	0,310	0,230
4	6,1	0,251	0,291	0,211
5	8,4	0,268	0,308	0,228
6	3,0	0,228	0,268	0,188

Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, pág. 94

Segundo o documento, observou-se que os valores médios obtidos para a relação $S_{u(pico)}/\sigma'_{vo}$ variaram de 0,23 e 0,27 e então foi feita a setorização do depósito de rejeitos conforme a figura 133.

Figura 133: Setorização do depósito de rejeitos



Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, pág. 94

O item 12.4.2 denominado “Análise do Gálio da Liquefação” esclareceu que após a setorização acima realizada, a metodologia de Olson (2001) sugere a análise de estabilidade para determinação da superfície crítica de pré-ruptura dividindo-a em 15 lamelas e ao final determina-se o $(FS)_{\text{Gálio}}$ em cada lamela, conforme figura 134 extraída do documento.

Figura 134: Resultados das análises do gálio da liquefação - Ensaios SPT

Segmentos	Rejeitos susceíveis	σ'_{vo} (kPa)	$\tau_d/\sigma'_{v0\text{méd}}$	$Su(\text{pico})/\sigma'_{vo}$	$Su(\text{pico})$	Tensão Cisalhante Estática (τ_d)	FS Gálio	Liquefação acionada
1	Não	-	-	-	-	-	-	-
2	Não	-	-	-	-	-	-	-
3	Não	-	-	-	-	-	-	-
4	Sim	407,94	0,197	0,242	98,722	80,42	1,23	Pouco provável
5	Sim	432,97	0,197	0,242	104,778	85,35	1,23	Pouco provável
6	Sim	431,28	0,197	0,242	104,370	85,02	1,23	Pouco provável
7	Sim	444,13	0,197	0,242	107,480	87,55	1,23	Pouco provável
8	Sim	445,12	0,197	0,242	107,720	87,75	1,23	Pouco provável
9	Sim	432,71	0,197	0,238	102,986	85,30	1,21	Pouco provável
10	Sim	401,77	0,197	0,238	95,622	79,20	1,21	Pouco provável
11	Sim	344,88	0,197	0,238	82,081	67,99	1,21	Pouco provável
12	Sim	284,02	0,197	0,238	67,596	55,99	1,21	Pouco provável
13	Sim	191,86	0,197	0,238	45,663	37,82	1,21	Pouco provável
14	Sim	120,20	0,197	0,238	28,607	23,70	1,21	Pouco provável
15	Não	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, pág. 95

Com base na figura 134, a empresa Pimenta de Ávila concluiu que “os fatores de segurança encontrados para todas as lamelas foram pouco superiores a 1,20. Desta forma, 139

segundo os critérios estabelecidos na metodologia, é pouco provável que o γ_{Lho} da liquefação seja acionado, haja vista que $(FS)_{\text{Lho}} \geq 1,0$.

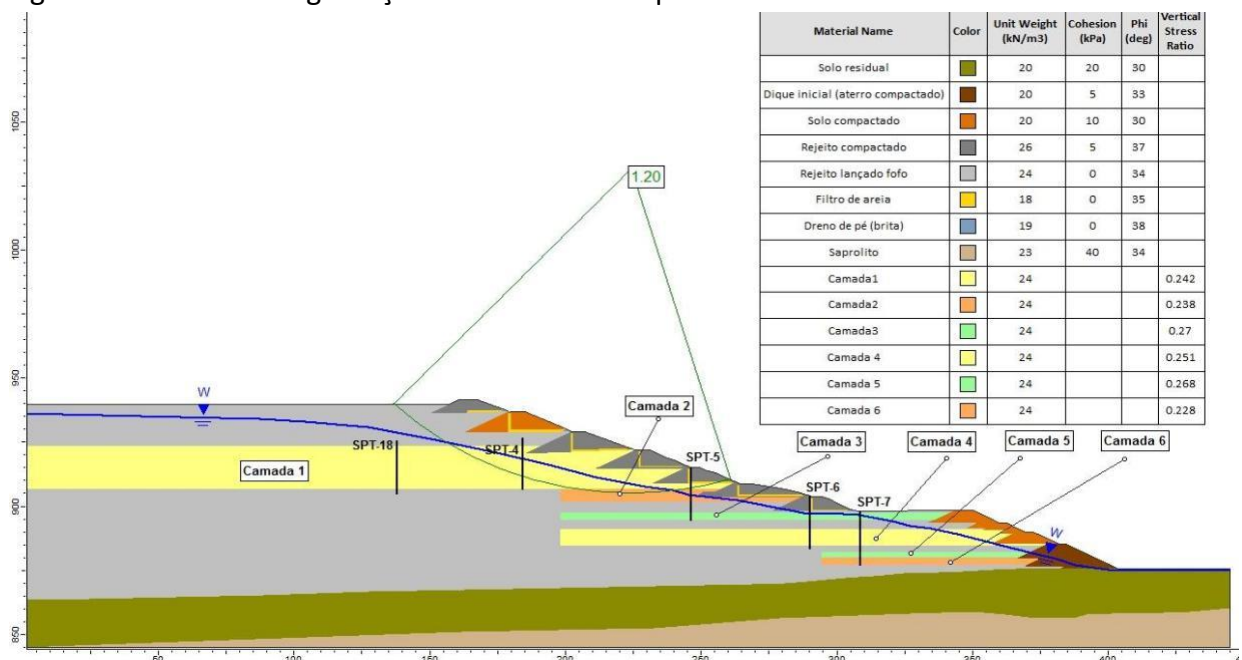
Dando continuidade ao estudo de liquefação, a empresa abordou, no item 12.5 do documento, análises de estabilidade da probabilidade de ruptura caso o γ_{Lho} da liquefação seja acionado. Conforme o documento, neste item a empresa esclareceu que “serão apresentadas as análises de estabilidade probabilísticas (FOSM, Rosenblueth e Monte Carlo) para a hipótese do acionamento do γ_{Lho} da liquefação. Nesta hipótese, deverá ocorrer a geração de excesso de poropressão que não será dissipada, acarretando assim, na redução da tensão efetiva e consequentemente da resistência. Destaca-se que, para esta condição, as análises de estabilidade são realizadas considerando a resistência não drenada dos rejeitos que apresentam comportamento contrátil”.

1.3.1.1. Análise de estabilidade probabilística FOSM

Na análise determinística inicial foram utilizados os parâmetros médios dos materiais, sendo que para as camadas de rejeito suscetíveis a liquefação foram adotadas as razões de resistência de pico apresentadas na tabela 7 já citada neste relatório.

A figura 135, extraída do documento, mostra que a superfície crítica de ruptura intercepta o rejeito lançado afofo e as camadas 1 e 2. Assim, foram realizadas quatro análises de estabilidade considerando uma taxa de acréscimo de 10% no valor médio de cada parâmetro (coesão, ângulo de atrito e razão de resistência - $S_{u(\text{pico})} / \sigma'_{vo}$) dos materiais interceptados pela cunha de ruptura, enquanto se mantiveram os demais parâmetros fixos com seus respectivos valores médios. O FSOB foi igual a 1,20.

Figura 135: Fator de Segurança Determinístico - Superfície Crítica – Parâmetros Médios



Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, pág. 96

1.3.1.2. Análise de estabilidade probabilística Monte Carlo

Foram realizadas análises pelo método Monte Carlo, como indicado pelo método FOSM, considerando as seguintes variáveis aleatórias: ângulo de atrito do rejeito lançado fofo e a razão de resistência de pico das camadas 1 e 2. A tabela 8 extraída do documento apresenta as variáveis utilizadas no método.

Tabela 8: Variáveis aleatórias e valores utilizados nas análises

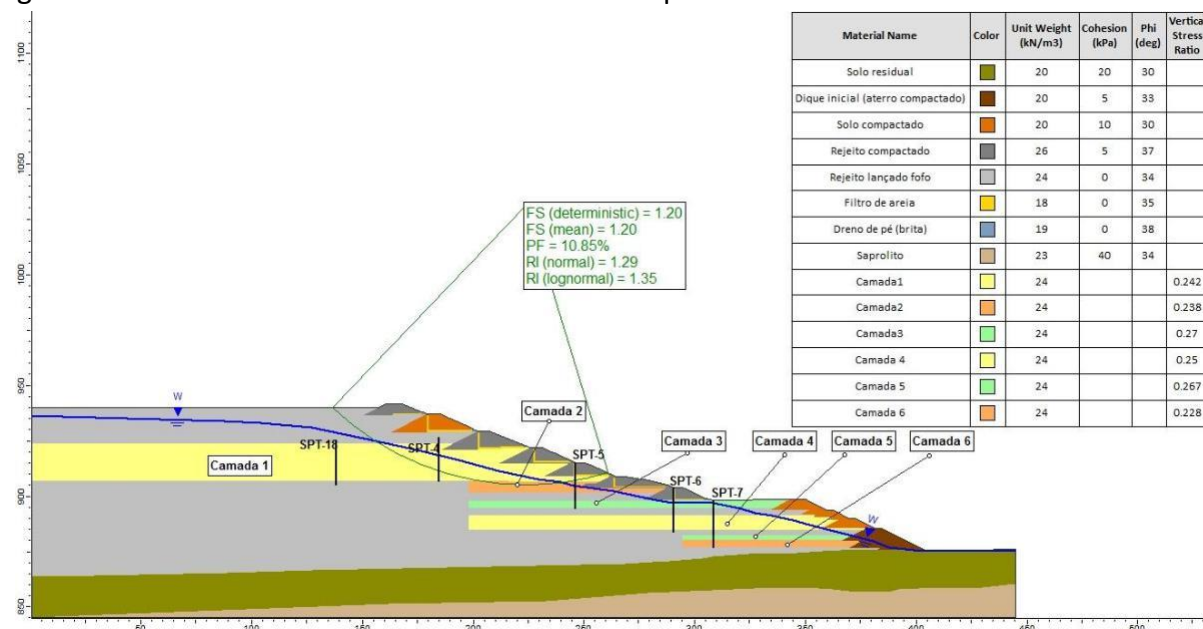
PARÂMETRO GEOTÉCNICO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	RELATIVO MÍNIMO	RELATIVO MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Rejeito lançado fofo – Ângulo de Atrito	34	3,4	6,8	6,8	27,2	40,8
Camada 1 – razão de resistência (pico)	0,242	40,0	0,0968	0,0968	0,1452	0,3388
Camada 2 – razão de resistência (pico)	0,238	40,0	0,0952	0,0952	0,1428	0,3332

Nota: Foi considerado o coeficiente de variação igual a 10% para o ângulo de atrito e de 40% para a razão de resistência. Além disso, foram adotados dois desvios padrões para a definição do relação máximo e relação mínimo no caso do ângulo de atrito e um desvio padrão no caso da razão de resistência

Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, pág. 99

Os resultados encontrados para a superfície crítica foram de FS médio de 1,20, conforme apresentado na figura 136.

Figura 136: Resultados da Análise Probabilística – Superfície Crítica – Monte Carlo



Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, pág. 99

1.3.1.3. Análise de estabilidade probabilística Rosenblueth

Na aplicação do método de Rosenblueth, foram consideradas as variáveis aleatórias que mais contribuíram na variação do FS, conforme indicado pelo método FOSM: ângulo de atrito do rejeito lançado fofo e as razões de resistência de pico das camadas 1 e 2.

Para a aplicação do método de Rosenblueth foram realizadas oito combinações, sendo ob do FS = 1,04, conforme apresentado na tabela 9.

Tabela 9: Variáveis Aleatórias e Resultados Ob dos

2 ⁿ	Nº do Cálculo	Pontos Par culares			Valores			FS
		1	2	3	Rejeito lançado fofo-Ângulo de atrito	Camada 1-Razão de resistência (pico)	Camada 2-Razão de resistência (pico)	
2 ¹	1	+	+	+	37,4	0,339	0,333	1,36
	2	-	+	+	30,6	0,339	0,333	1,24
2 ²	3	+	-	+	37,4	0,145	0,333	0,86
	4	-	-	+	30,6	0,145	0,333	0,82
2 ³	5	+	-	-	37,4	0,145	0,143	0,82
	6	-	+	-	30,6	0,339	0,143	1,20
	7	+	+	-	37,4	0,339	0,143	1,22
	8	-	-	-	30,6	0,145	0,143	0,79
							Média	1,039
							Desvio padrão	0,237
							P _f	4,35x10 ⁻¹

Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, pág. 98

Deste modo, resumidamente, obteve-se os seguintes resultados com base nos ensaios de SPT para as análises de es ma vas de probabilidade de ruptura caso o ga lho seja acionado, conforme a tabela 10.

Tabela 10: Barragem I: Resumo dos Resultados Encontrados – Análises de Estabilidade Probabilísticas com Base nos Ensaios SPT

CENÁRIO	MÉTODO	FS MÉDIO	σ [FS]	P _f [FS ≤ 1,0]
Níveis freá cos atuais	FOSM	1,20	0,204	2x10 ⁻¹
	Rosenblueth	1,04	0,237	4x10 ⁻¹
	Monte Carlo	1,20	0,152	1x10 ⁻¹

Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, pág. 100

O relatório conclui que o método de Rosenblueth apresentou maior probabilidade de ruptura com FS médio de 1,04.

A empresa Pimenta de Ávila também citou no Apêndice D, denominado “Aplicação da Metodologia de Olson (2001) para Ensaios CPTu”, o resultado com base nos ensaios de CPTu das análises de es ma vas de probabilidade de ruptura caso o ga lho seja acionado, conforme a tabela 11.

Tabela 11 – Barragem I: Resumo dos Resultados Encontrados – Análises de Estabilidade Probabilís cas com Base nos Ensaios CPTu

CENÁRIO	MÉTODO	FS MÉDIO	σ [FS]	P_f [FS $\leq$ 1,0]
1 –Níveis freá cos atuais	FOSM	1,10	0,237	3×10^{-1}
	Rosenblueth	0,99	0,199	5×10^{-1}
	Monte Carlo	1,10	0,105	2×10^{-1}

Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, pág. 122

Conclui que o método de Rosenblueth também apresentou a maior probabilidade de ruptura, com FS médio de 0,99.

No item 12.6 denominado “Potenciais Ga lhos para a Liquefação” a empresa Pimenta de Ávila listou os potenciais ga lhos de liquefação da B I e concluiu que “Dentro deste contexto, a definição do ga lho mais relevante e da sua probabilidade associada foi estabelecida com base no julgamento de engenharia das equipes técnicas da Pimenta de Ávila Consultoria e Vale envolvidas neste trabalho. Sendo assim, para as atuais condições da barragem julgou-se a elevação rápida da super cie freá ca associada a uma precipitação de grande magnitude como o ga lho mais provável de ocorrer”.

Por fim, destacou que os resultados ob dos do estudo elaborado devem ser vistos como es ma va inicial da probabilidade, haja vista as premissas e simplificações u lizadas na análise, como o emprego de resultados de ensaios (CPTu e SPT) não representa vos da atual condição do depósito de rejeitos, inexistência de informação sobre as caracterís cas dos rejeitos depositados em 10 anos de operação anteriores ao ano de 2015 e incertezas sobre a es ma va da probabilidade de ocorrência do ga lho para acionamento da liquefação.

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

O RISR de 2015, elaborado pela Pimenta de Ávila, apontou a necessidade de um estudo de liquefação da B I, baseado na realização de uma nova campanha de inves gação, coleta de amostras e informações representa vas dos rejeitos existentes.

Conforme esta recomendação a empresa então realizou o estudo de liquefação da B I em dezembro de 2015, porém baseou-se em uma campanha de inves gação das condições do solo da barragem realizada no ano de 2005, ou seja, 10 anos anteriores à data do estudo de liquefação elaborado. Tal conduta contrariou o seu próprio parecer constante no RISR de 2015 que expressou que para o estudo de liquefação deveria ser realizada uma nova campanha de inves gação da barragem.

O estudo de liquefação elaborado ainda não elencou dois pontos crí cos iden ficados no RISR de 2015 e que poderiam ser possíveis ga lhos para a liquefação da barragem,

conforme trecho abaixo extraído do documento COMPLEXO PARA OPEBA – MINA CÓRREGO DO FEIJÃO BARRAGEM I RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR / 2015 LAUDO TÉCNICO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM / 2015 (Documento Pimenta de Ávila RD-639-RL-40142-01, Revisão 1, 31/08/2015, pág. 19):

Frente aos resultados e análises realizadas, algumas ressalvas fazem-se importantes:

- Na Figura 12 do documento VL28-RT-03 (Geoconsultoria) admite-se a possibilidade de ruptura não drenada em face da existência de uma camada com nua de rejeitos finos situada cerca de 2,0 a 4,0 m abaixo da berma da cota 898,0m e determinada através das sondagens e ensaios de campo;
- Nas Figuras 14 e 16 do documento VL28-RT-03 (Geoconsultoria), analisou-se a eventualidade de elevação exagerada do lençol freático no talude superior, decorrente da heterogeneidade dos rejeitos e do mau funcionamento do sistema de drenagem dos diques. Na Figura 16, considerou-se ainda a redução da resistência do aterro, por exemplo, por deficiência de compactação.

Apesar de não mencionar os pontos críticos acima identificados, a empresa Pimenta de Ávila realizou os cálculos para a condição não drenada da B I e obteve um **FS médio de 1,20**, utilizando a metodologia de Olson (op. cit.). A seguir apresentou análises de estabilidade probabilísticas (FOSM, Rosenblueth e Monte Carlo) para a hipótese do acionamento do galho da liquefação.

O estudo de liquefação realizado pela empresa Pimenta de Ávila não contemplou uma nova análise global de estabilidade por parâmetros residuais, o que deveria ser feito conforme determina a metodologia de Olson (op. cit.), pois o FS obtido situou-se entre os valores de 1,1 e 1,3.

As análises de estabilidade probabilísticas de ruptura por hipótese do acionamento do galho da liquefação, realizadas pelo método de Rosenblueth, observaram FS abaixo do unitário, indicando uma situação não favorável de estabilidade da B I, tendo em vista que foram identificadas camadas que sob carregamento estático não drenado poderiam resultar em possíveis galhos para o fenômeno de liquefação da barragem.

Conforme expresso no documento, a eventual geração de excesso de poropressão nestas camadas, que não será dissipada, acarretará a redução da tensão efetiva e consequentemente da resistência destas camadas.

As informações contidas no estudo de liquefação elaborado pela Pimenta de Ávila em 12/2015 não foram conhecidas pelas empresas consultoras responsáveis pela emissão de RISR da B I a partir do ano de 2015.

Cabe destacar que este estudo não foi realizado com a finalidade de basear a emissão de uma DCE ou qualquer outro produto de certificação que atestaria a estabilidade da barragem.

1.3.2. Documento Geoconsultoria VL47-RT-04

**Estudo de Liquefação Estática – Barragem B I – Córrego Do Feijão - Revisão 1, 15/07/2016 –
Empresa Consultora: Geoconsultoria**

O estudo realizado considerou as seções geotécnicas preparadas quando do alteamento para cotas 937 m e 942 m, nas quais foi realizada investigação de campo com execução de sondagens, ensaios CPTu e Vane Tests. Adicionalmente foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, tanto na praia como no próprio maciço, e executados ensaios de laboratório.

No estudo “as análises foram recalculadas considerando-se o monitoramento da barragem que se processa desde 2006”. Foi também realizada campanha adicional de coleta de amostras e ensaios de laboratório realizada em 2016 para verificar possíveis diferenças de comportamento dos rejeitos e permitir melhor avaliação da condição de estabilidade da barragem frente à ocorrência de gatilhos que possam resultar em liquefação estática da barragem.

A seguir, o estudo abordou um histórico de construção da B I, com informações sobre o sistema de drenagem, a instrumentação e os alteamentos realizados. Definiu que para as análises de estabilidade foi considerada a seção geotécnica S-3 por estar mais bem instrumentada e ter altura semelhante às seções centrais. Os parâmetros geotécnicos considerados nas análises de estabilidade foram tomados dos resultados de investigações executadas para os projetos das etapas de alteamento da barragem para as cotas 937 m e 942 m (ano de 2006).

Em 2016 a empresa consultora informou que foi executada nova campanha de investigações de campo e laboratório (relatório VL47-RT-06) e que os resultados foram considerados na análise de estabilidade.

A seguir, a Geoconsultoria abordou a própria análise de estabilidade orientada por critérios técnicos presentes na metodologia de Sco M. Olson, contratado pela Geoconsultoria.

Segundo este especialista, são suscetíveis de ruptura não drenada rejeitos com índice de vazios superior ao denominado índice de vazios crítico (Olson & Stark, 2003) sendo que este último varia com a tensão confinante efetiva em cada ponto da massa de rejeitos.

O texto da análise da empresa expressou que os pesquisadores Fear e Robertson (1995) estabeleceram relações para determinar a partir de resultados de ensaios de campo os limites a partir dos quais pode ocorrer – ou não – este tipo de problema (análise de suscetibilidade). No primeiro caso os materiais são ditos contráteis, suscetíveis à liquefação, com tendência de diminuir de volume quando cisalhados e por possuírem índice de vazios superior ao crítico.

Os ensaios de campo referidos são SPT e CPTu, com preferência para o último. A seguir a Geoconsultoria valeu-se de fórmulas para obter os resultados das resistências de ponta (CPTu) corrigidas e lançou tais resultados no gráfico de Fear e Robertson (1995), tomando o cuidado de corrigir a linha de limite de vazios (correção de Olson) em razão da metodologia de Fear e Robertson ter sido estabelecida para areias e não para os nossos rejeitos, que têm compressibilidade maior.

Na figura 137 e na figura 138, os gráficos representam o método de Fear e Robertson de 1995 (linha verde) e a correção de Olson para rejeitos (linha tracejada). Os valores dos

ensaios localizados a esquerda da linha tracejada indicam resultados dos ensaios com material suscetível a liquefação (comportamento contráil) e os valores a direita indicam resultados com material de comportamento dilatante (não suscetível).

Figura 137: Material suscetível a liquefação

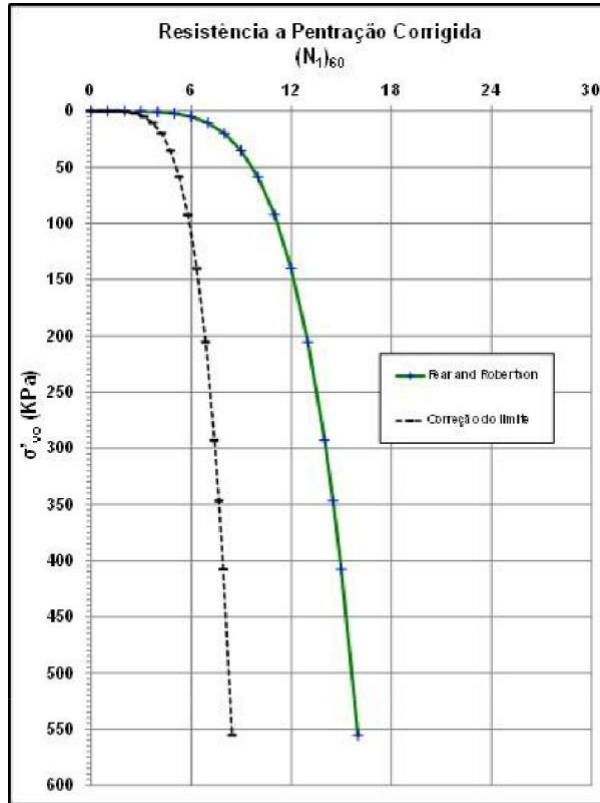
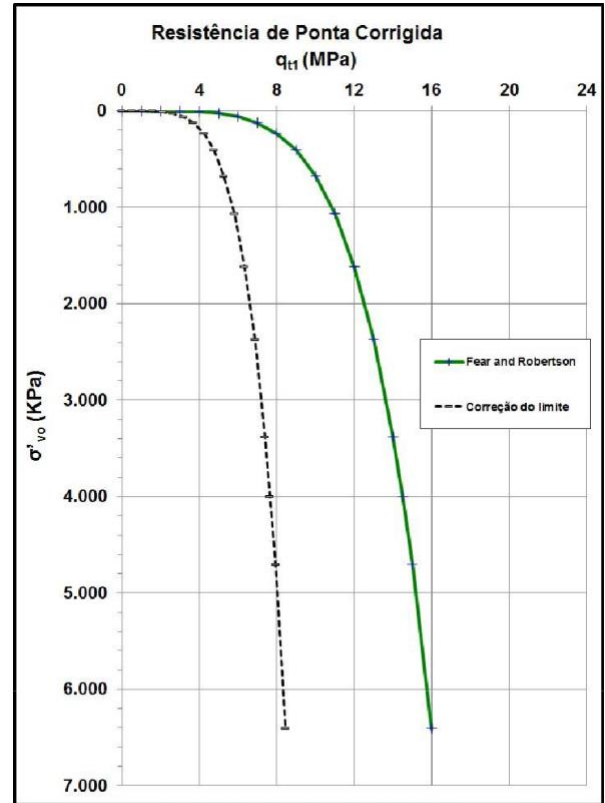


Figura 138: Material não suscetível a liquefação



Fonte: ESTUDO DE LIQUEFAÇÃO ESTÁTICA – BARRAGEM B I – CÓRREGO DO FEIJÃO (Documento Geoconsultoria VL47-RT-04 Revisão 1, 15/07/2015)

Com base nestas considerações, a empresa Geoconsultoria indicou que para que a análise de estabilidade da B I fosse feita, ter-se-ia que observar os seguintes passos:

1. Lançar os resultados dos ensaios CPTu e SPT na seção 3 e as posições do lençol freático conforme leitura dos piezômetros;
2. Faz-se análise preliminar de estabilidade (pré-triggering) determinando as superfícies com coeficiente de segurança mínimo. Nesta análise atribui-se aos rejeitos suscetíveis de liquefação a chamada resistência de pico, determinada pelos ensaios CPTu e SPT e efetuando as correlações de Olson;
3. Se o coeficiente de segurança resultante for superior a 1,3 para a superfície crítica, a análise pode ser paralisada, com resultado adequado;
4. Caso não ocorra o acima, nas lamelas com coeficiente de segurança inferior a 1 (eventualmente 1,1) deve-se substituir a resistência de pico dos rejeitos pela sua resistência na liquefação;

5. Nova análise é realizada (*post-triggering*) resultando coeficiente de segurança global, obviamente inferior ao da análise anterior. Se o resultado for acima de 1,1 deverá ser considerado OK. Caso se situe entre 1 e 1,1 a estabilidade estaria garantida, porém ocorreriam deformações apreciáveis. Se abaixo de 1, haveria necessidade de estudo de medidas corretivas.

O procedimento acima foi aplicado na seção 3 (S-3) da B I segundo o estudo da empresa. Foi feita uma planilha com os resultados dos ensaios de campo CPTu e SPT e obteve-se as resistências normalizadas ao longo da seção. Aplicou-se, a seguir, as fórmulas de correlação para determinação das resistências de pico (S_u/σ'_v) que resultarem nos valores abaixo:

1. Ano 2005 CPTu (1 a 8): resistências de pico (S_u/σ'_v) 0,23 a 0,28
2. Ano 2016 CPTu (3 a 7): resistências de pico (S_u/σ'_v) 0,24 a 0,29
3. Todos os ensaios SPT: resistências de pico (S_u/σ'_v) 0,22 a 0,28

A Geoconsultoria seguiu sua análise e observou que as variações das resistências de pico (S_u/σ'_v) foram muito pequenas. Com base nestes valores foi determinada a zona suscetível à liquefação e, na primeira hipótese, considerando o critério de Fear e Robertson (1995), resultou como suscetível à liquefação praticamente toda a massa de rejeitos abaixo do NA.

A Geoconsultoria também determinou a zona suscetível à liquefação pelos ensaios CPTu, que também permitem prever as zonas de liquefação a partir das medidas de pressão neutra dos ensaios. Pelo critério de análise dos ensaios de CPTu, a zona suscetível à liquefação reduziu-se drasticamente e abrangeu uma faixa variável ao longo da fresta superior sendo adotada a razão de resistência do mesmo critério anterior.

A empresa consultora, com base nos dois modelos de estratificação da zona de possível liquefação determinada pelos critérios anteriores, fez diversas análises de liquefação e adotou razões de resistências de pico (S_u/σ'_v) iguais a 0,23, 0,25, 0,30 e 0,40. Explicou que os dois primeiros valores (0,23 e 0,25) eram derivados do critério de Olson; o terceiro valor (0,30) seria o extremo superior obtido pelas correlações de Olson e os menores valores obtidos nos ensaios Vane Test; o último valor (0,40) poderia ser considerado derivado de ensaios de laboratório Triaxiais e os maiores valores obtidos nos Vane Tests.

A Geoconsultoria observou que só se conseguem resultados satisfatórios de estabilidade quando se considera a maior das razões de resistência (0,40) e que nas análises feitas pelo método de Olson (razões de 0,23 e 0,25) só foram adotadas resistências de pico (S_u/σ'_v), visto que os resultados seriam ainda menores se adotadas resistências residuais (pós-galho).

No item 5 do estudo denominado “Comentários Gerais”, a Geoconsultoria fez uma reflexão sobre o método de Olson: este pesquisador estudou 33 casos de rupturas reais correlacionando resistências dos ensaios de penetração CPTu e SPT com as tensões cisalhantes na ruptura e obteve as resistências ao cisalhamento.

A consultora teorizou que, apesar da pesquisa ter sido feita de forma cuidadosa, ocorreram casos em que dados disponíveis não foram considerados precisos e que logicamente houve uma tendência conservadora na publicação dos resultados.

A empresa, neste sentido, mencionou que o relatório de Olson sobre a B I observou uma tendência de aumento das relações de resistência caso o ponto considerado para a análise esvesse submetido a uma tensão cisalhante prévia, como o caso de pontos da massa de rejeito localizados sob taludes de barragens.

A Geoconsultoria relatou então que empreendeu discussões sobre o assunto com Olson, e este teria informado que seu método não poderia ser considerado algo fechado e que o considerava como um limite inferior de resistências; e teria recomendado a realização de ensaios de laboratório e Vane Tests.

O documento mencionou ainda que em estudo anterior (2006) a Geoconsultoria chegou a conclusões diferentes sobre o comportamento dos ensaios Triaxiais em amostras indeformadas, concluindo que se espera comportamento drenado para rejeitos em barragem e neste caso os coeficientes de segurança tenham valores elevados mesmo com níveis d'água desfavoráveis no interior da barragem.

A Geoconsultoria acrescentou ainda que o comportamento da B I tem sido o melhor possível no período de 10 anos anteriores a 2016 e que, como consequência das recomendações da consultoria, foram implementadas práticas de operação que permitiram aumentar a largura de praia. Disse ainda que isso foi possível com a construção de uma galeria de drenagem para coletar água a grande distância da praia e reduzir o volume de água armazenado.

Concluindo informando que para a ocorrência de uma ruptura não drenada seria preciso ocorrer um galhamento. No caso da B I a possibilidade da ocorrência de um galhamento de natureza estática era remota, pois a barragem já atingiu sua cota final, porém a ocorrência de um sismo seria algo a ser estudado.

Por fim, no item 6 denominado "Conclusões", a Geoconsultoria observou que as análises feitas mostraram coeficientes de segurança baixos em se considerando a hipótese de ruptura não drenada e a aplicação do método de Olson (op.cit.).

Contra esta hipótese de ruptura, o documento lista uma série de circunstâncias favoráveis, tais como: o fato de ter sido cessado o lançamento de rejeitos na barragem; o rebaixamento do nível do lago remanescente como consequência do fato anterior; a decisão de promover a lavra de rejeitos que deverá contribuir para reduzir tensões e pressões neutras. E que, em função das condições anteriores, o critério de eventual ruptura a considerar será o drenado resultando em coeficientes de segurança satisfatórios para a operação da barragem.

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

A Geoconsultoria, com base nos modelos de estratigrafia da zona de possível liquefação determinados, adotou razões de resistências de pico (S_u/σ'_v) iguais a 0,23, 0,25, 0,30 e 0,40. Explicou em seguida que os dois primeiros valores (0,23 e 0,25) eram derivados do critério de Olson; o terceiro valor (0,30) seria o extremo superior obtido pelas correlações de Olson e menores valores para os ensaios Vane Test; o último valor pode ser considerado derivado de ensaios de laboratório Triaxiais e os maiores valores para os ensaios de Vane Test.

A Geoconsultoria expressou sua análise crítica ao modelo de Olson e o denominou como um método conservador na publicação de seus resultados, por não considerar dados das razões de resistências de pico (S_u/σ'_v) obtidos a partir de ensaios de laboratório e que resultariam em coeficientes de segurança mais elevados para a B I.

Ao mesmo tempo a empresa Geoconsultoria, em sua análise, expressa que já havia realizado estudos anteriores incluindo os valores de ensaios de laboratórios Triaxiais e que, neste caso, os coeficientes de segurança apresentaram valores elevados mesmo com níveis d'água desfavoráveis no interior da barragem.

Esclareceu que se fosse aplicado exclusivamente o método de Olson nas análises de estabilidade os coeficientes de segurança obtidos seriam baixos considerando-se a hipótese de ruptura não drenada.

Esta Auditoria Fiscal do Trabalho entende que a análise de estabilidade de uma barragem é um processo que visa calcular seu fator de segurança real (no caso, para a condição não drenada) e compará-lo com o fator mínimo recomendado por estudos acadêmicos e as boas práticas de engenharia, de modo a permitir sua utilização segura segundo a sua concepção de projeto, ou seja, o armazenamento de rejeito mineral.

Neste sentido, no intuito de resguardar a integridade física de trabalhadores ou de terceiros que poderiam ser afetados por uma provável ruptura do barramento, entendemos que as empresas devem sempre se pautar por uma conduta que seja mais conservadora em relação ao cálculo de fatores de segurança, pois estes servirão de parâmetro para a emissão da Declaração de Condição de Estabilidade de uma barragem de rejeitos.

Neste estudo de liquefação elaborado pela Geoconsultoria foi constatada a inclusão de ensaios de laboratório Triaxiais para a determinação da envoltória de resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v). Tal conduta não é prevista originalmente na metodologia proposta por Olson (op. cit.) e implica no aumento do valor da referida envoltória, levando a um aumento substancial do FS obtido para a condição não drenada do barramento.

Cumprе esclarecer que esta Auditoria Fiscal do Trabalho, em consonância com a “Nota Técnica Sobre Discussão Sobre os Ensaios de Campo e Laboratório”, emitida pela empresa Potamos (Documento Potamos Nº POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067), **firmou entendimento que a inclusão de resultados de ensaios Triaxiais com valores de razão de resistência de pico acima de 0,43 para o cálculo da envoltória de resistência de pico (S_u/σ'_v) contraria as determinações de Olson (op. cit.) na aplicação de seu método, conforme estudos realizados posteriormente por Olson & Ma son (2008)³⁰.**

Salienta-se que resultados de ensaios de laboratório Triaxiais com valores de resistência de pico superiores a 0,43 foram utilizados no RISR (Documento Nº VL55-RT05) emitido em 11/11/2016 pela empresa Geoconsultoria para o cálculo da envoltória de resistência de pico (S_u/σ'_v), com o fim de obtenção do FS para a condição não drenada da B I. **Tal conduta resultou na obtenção de um FS de 1,3, o limite mínimo de FS determinado pelo método de Olson (op. cit.) para a condição não drenada.**

Os valores dos FS para a condição drenada e não drenada são comparados com limites referenciados em documentos editados pela comunidade técnico-científica sobre o assunto [no

³⁰Olson, S.M., Ma son, B.B. Modes of shear effects on yield and liquefied strength ra os. Canadian Geotechnical Journal , 2008, 45 (4): 574-587, h ps://doi.org/10.1139/T07-114

caso, a NBR 13.028/2006 determina o FS mínimo para condição drenada e o método de Olson (op. cit.) determina o FS mínimo para condição não drenada] e servem como um dos critérios para o julgamento da estabilidade da barragem, que se formaliza através da emissão da DCE.

Neste contexto, em suma, **o que possibilitou a emissão da DCE para a B I em 2016 foi a majoração do FS calculado para a condição não drenada, devida ao uso de valores de razão de resistência mais elevados, não previstos na metodologia adotada**, oriundos dos ensaios de laboratórios Triaxiais.

1.3.3 Documento Geoconsultoria VL47MC01-R0

Estudo de Liquefação Estática – Barragem B I – Córrego do Feijão - 26/07/2016 – Empresa consultora: Geoconsultoria

Neste estudo de liquefação elaborado pela Geoconsultoria, a empresa esclareceu que o potencial de liquefação dos rejeitos foi analisado a partir dos ensaios de CPTu e SPT e foi utilizada a metodologia de Olson (op. cit.1) na qual os resultados dos ensaios de campo são normalizados e comparados com valores de referência determinado para solo arenoso (linha de estado crítico) apresentada por Fear & Robertson em 1995. Para a análise de estabilidade estática foi utilizada a seção geológico-geotécnica principal (seção 3) da B I.

O documento apresentou os resultados de ensaios de CPTu utilizados para a determinação da envoltória de resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v) e que correspondem a resultados de ensaios realizados nos anos de 2016 (CPTu-3, CPTu-4, CPTu-5, CPTu-6, CPTu-7) e de 2005 (CPTu-1, CPTu-2, CPTu-3, CPTu-4, CPTu-5, CPTu-6, CPTu-7, CPTu-8).

As análises de estabilidade foram realizadas por meio do Método de Equilíbrio Limite utilizando-se formulações do método de Spencer e para o processamento das análises foi utilizado o software Slide.

A Geoconsultoria constatou que dos ensaios é possível notar que os pontos estão essencialmente na zona de comportamento contrátil com potencial de liquefação, com exceção de algumas sondagens da Seção 4. Adicionalmente foi realizada análise dos ensaios de CPTu com detalhe para trechos com maior geração de poropressão associando a estas camadas um comportamento não drenado.

A esmaiação do parâmetro de resistência não drenado de pico (S_u/σ'_v) dos rejeitos a partir dos ensaios de CPTu e SPT foi realizada com o emprego da metodologia de Olson (op. cit.) e apresentaram valores entre 0,22 e 0,29.

O NA considerado no modelo foi determinado por análise de fluxo levando-se em conta os níveis piezométricos àquela época.

Ao final, a análise de estabilidade estática da Seção 3 (S-3) da B I apresentou resumo dos FS para a condição não drenada para modelos de estratificação que avaliam rupturas por liquefação local e global para um parâmetro de resistência não drenado de pico ($S_u/\sigma'_v = 0,25$), conforme tabela 12.

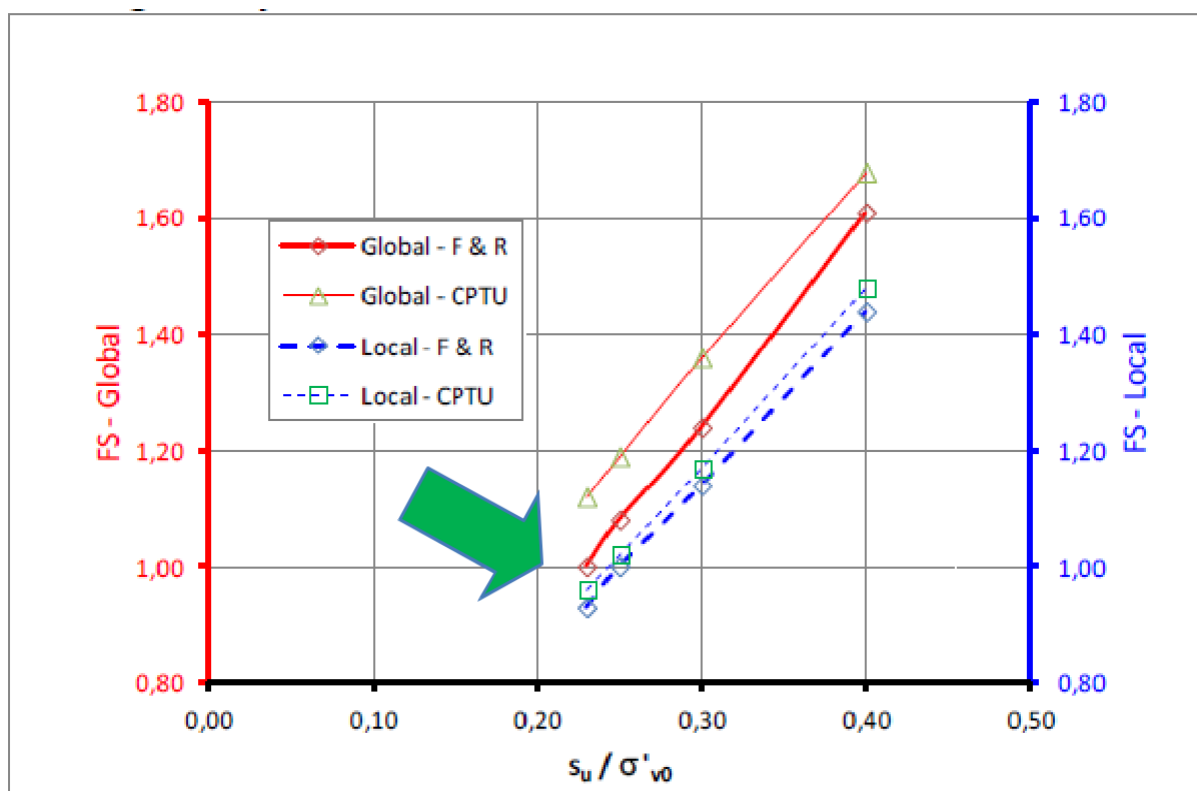
Tabela 12: Fator de segurança para condição não drenada de pico, análise local e global

	Modelo de estratificação	Fator de segurança	
		Análise Local	Análise Global
Seção 3	Fear & Robertson, 1995	1,00	1,08
	Excesso de poro-pressão nos CPTU	1,02	1,19

Fonte: ESTUDO DE LIQUEFAÇÃO ESTATICA – BARRAGEM B I – CÓRREGO DO FEIJÃO (Documento Geoconsultoria VL47MC01-R0, 26/07/2016, pág. 9)

O estudo informou ainda que foram realizadas análises adicionais de estabilidade para os dois modelos, variando os valores de resistência não drenada para a análise global e análise local. Obteve-se um FS da condição não drenada da B I de valor igual a 1,0, indicado pela seta verde conforme a figura 139.

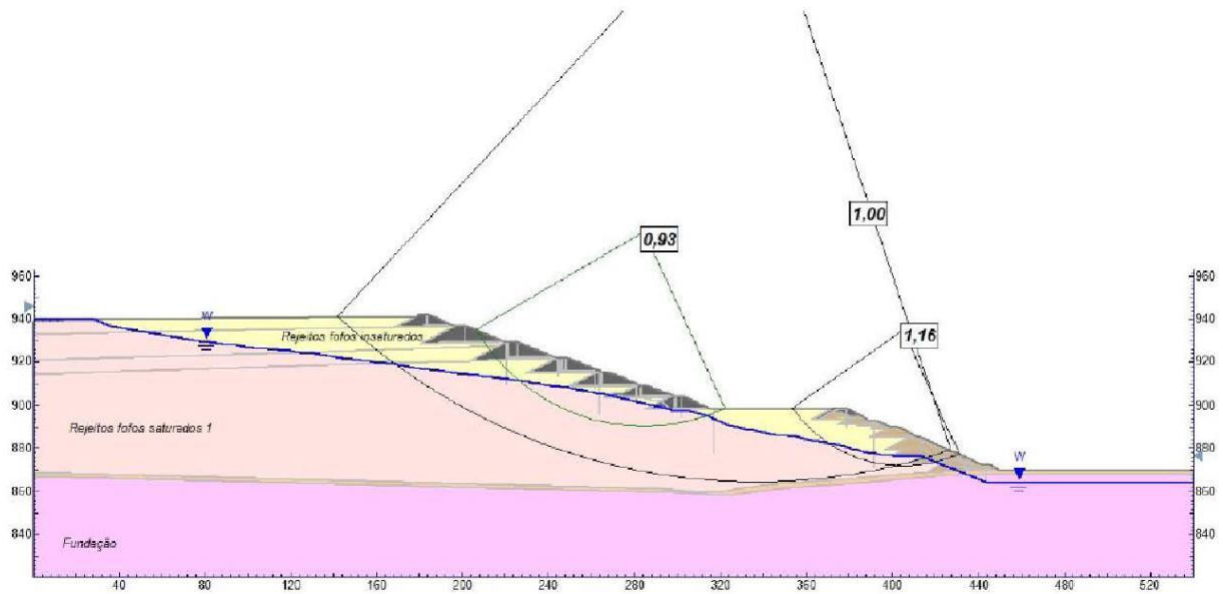
Figura 139: Gráfico da análise de estabilidade para condição não drenada para valores adicionais de resistência não drenada



Fonte: ESTUDO DE LIQUEFAÇÃO ESTATICA – BARRAGEM B I – CÓRREGO DO FEIJÃO (Documento Geoconsultoria VL47MC01-R0, 26/07/2016, pág. 9)

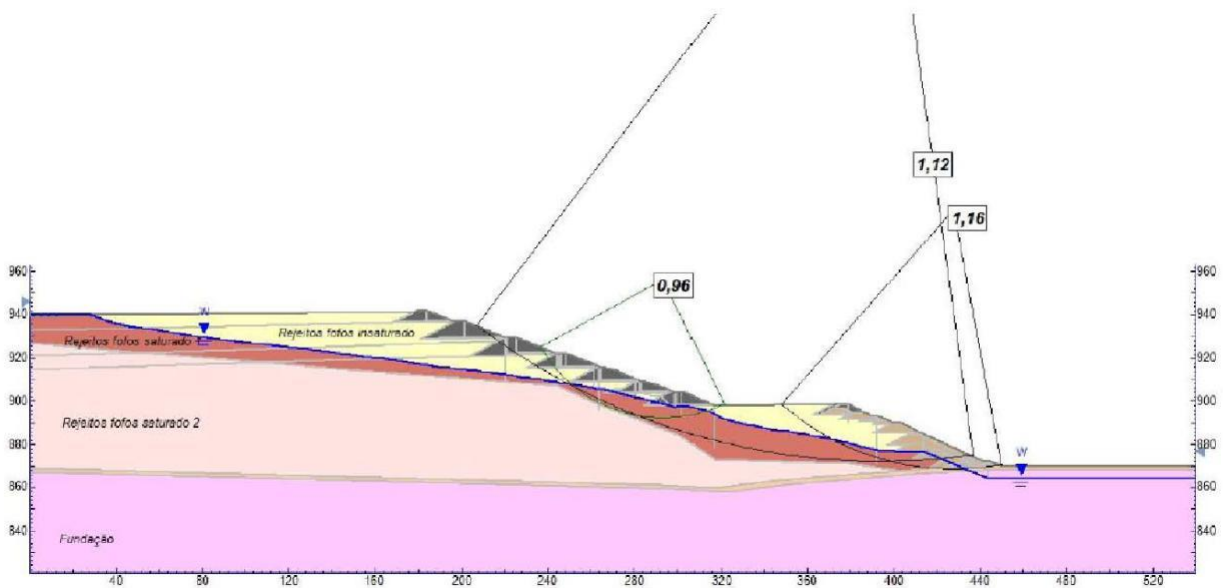
A seguir selecionamos FS de análises local e global dos modelos de estratificação adotados e que estão representados na figura 140 e figura 141.

Figura 140: Fator de segurança calculado conforme modelo Fear & Robertson $S_u/\sigma'_v = 0,23$



Fonte: ESTUDO DE LIQUEFAÇÃO ESTÁTICA – BARRAGEM B I – CÓRREGO DO FEIJÃO (Documento Geoconsultoria VL47MC01-R0, 26/07/2016, pág. 10)

Figura 141: Fator de segurança calculado conforme modelo CPTu, $S_u/\sigma'_v = 0,23$



Fonte: ESTUDO DE LIQUEFAÇÃO ESTÁTICA – BARRAGEM B I – CÓRREGO DO FEIJÃO (Documento Geoconsultoria VL47MC01-R0, 26/07/2016, pág. 12)

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Constata-se pela análise do estudo de liquefação da Geoconsultoria que foi realizada nova campanha de investigação na B I com a obtenção de novos valores de ensaios CPTu, de modo a corrigir a deficiência con da no estudo de liquefação anteriormente realizado em 2015 pela empresa Pimenta de Ávila, conferindo maior representatividade aos parâmetros geológico-geotécnicos da barragem.

Segundo o estudo, foram obtidos valores entre 0,22 e 0,29 para a es ma va do parâmetro de resistência não drenado de pico (S_u/σ'_v) dos rejeitos a par r dos ensaios de CPTu e SPT, utilizando a metodologia de Olson (op. cit.).

Com estes valores encontrados para a resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v), a Geoconsultoria obteve, para a Seção 3 da B I, um FS global correspondente a 1,0 e, na mesma linha do estudo de liquefação realizado em 2015 pela empresa Pimenta de Ávila, não contemplou uma nova análise global de estabilidade por parâmetros residuais.

Apesar da Geoconsultoria não ter realizado uma nova análise global de estabilidade por parâmetros residuais, entendemos que tal procedimento é desnecessário em razão de ter-se obtido um FS = 1,0 para a resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v), já que um novo cálculo do FS com parâmetros residuais de resistência provavelmente apresentaria FS abaixo de 1,0, demandando assim a adoção de medidas corretivas na B I segundo a metodologia de Olson (op. cit.).

Deste modo a Vale, após a emissão e ciência deste estudo de liquefação elaborado pela Geoconsultoria, deveria ter acionado o Plano de Ação de Emergência de Barragens de Mineração – PAEBM da B I, em nível 3, para a adoção de medidas corretivas na mesma.

1.3.4 Documento Geoconsultoria VL47-RT-04

Estudo de Liquefação Estática – Ensaios de Laboratório - Revisão 0, 20/12/2016 – Empresa consultora: Geoconsultoria

Nesse documento a empresa Geoconsultoria avaliou resultados de novos ensaios de laboratório executados a pedido da Vale com o objetivo de completar estudos de eventual liquefação da B I.

Inicialmente o objeto principal das análises foi a parte inferior da barragem, na berma da cota 900 m, atendendo às recomendações da Auditoria da Vale. Foram coletadas 105 amostras na referida berma por meio de furos a trado com profundidade variando de 1,2 m a 1,5 m.

O item 4 denominado “Resultado dos Ensaios” apresentou as características das amostras coletadas (composição, granulometria, densidade) e comentou os valores de resistência encontrados com as características das amostras, enfatizando que alguns parâmetros de resistência encontrados eram relativamente altos. Justificou que este comportamento das amostras indeformadas possivelmente se devia às condições em que a berma da cota 900 m foi formada, com muito tráfego de veículos de construção pesada

passando pela mesma, o que teria produzido “supercompactação” e resultando em valores altos de resistência mesmo para amostras consideradas fofas.

Constatou, com base nos estudos efetuados e tendo em vista as recomendações de Olson³¹, que a análise de estabilidade com base em ensaios executados sobre amostras indeformadas coletadas na berma da cota 900 m conduziram a resultados não conservadores e não confiáveis. Já os ensaios realizados sobre amostras moldadas numa condição compa vel com a simulação de maciços do po contrá l, que ocorrem na B I, tendem a resultar em valores considerados confiáveis.

A Geoconsultoria concluiu que o valor encontrado em ensaios com amostras moldadas, de 0,54 (média para a razão de resistência não drenada de pico), conforme tabela 13, “comparou-se muito bem” com os valores assumidos quando da análise de estabilidade apresentada no RISR de 2016 (Documento Geoconsultoria VL55-RT05), que mostrou um valor médio da razão de resistência não drenada de pico igual a 0,36, resultando em coeficiente de segurança de 1,3, considerado o mínimo admissível.

Tabela 13: Resultados dos ensaios triaxiais realizados em amostras moldadas na B I

Tipo	Local	Prof. (m)	γ_d / γ_{dmax} (%)	Triaxiais CIU _{SAT}			Adensamento	
				$s_u / \sigma' c$	c' (kPa)	ϕ' (°)	C_{c1}	C_{c2}
Moldada	PI01	1,3-1,5	79	0,47-0,35	0	36,8	0,035	0,16
Moldada	PI02A	1,2-1,5	79	0,57-0,38	0,4	28,2	0,09	0,32
Moldada	PI03A	1,2-1,5	79	0,36-0,22	0,9	34,8	0,10	0,17
Moldada	PI04	(*)	79	0,20-0,28	0	32		
Moldada	PI01	1,3-1,5	83	0,73-0,65	1,1	31,0		
Moldada	PI02A	1,2-1,5	83	0,78-0,65	8,3	30,8		
Moldada	PI03A	1,2-1,5	83	0,55-0,65	1,5	30,2		
Moldada	PI04	(*)	83	0,74-1	0	33,6		

Símbolos:

γ_d - densidade aparente seca

γ_{dmax} - densidade seca máxima

$s_u / \sigma' c$ - razão de resistência não drenada

c' - intercepto de coesão efetivo

ϕ' - ângulo de atrito efetivo

C_{c1} - índice de compressão (12,5 a 100 kPa)

C_{c2} - índice de compr. (100 a 1600 kPa)

(*) - não fornecida

Fonte: Estudo de Liquefação Estática Ensaio de Laboratório - Documento Geoconsultoria VL47-RT-04, Revisão 0

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Neste estudo a Geoconsultoria realizou ensaios de laboratórios Triaxiais com coleta de amostras em local (berma da cota 900) **atendendo às recomendações da Auditoria da Vale**. Constatou que os ensaios Triaxiais realizados sobre amostras moldadas re radas da B I tendem a apresentar resultados confiáveis, e encontrou um valor de 0,54 para amostras moldadas considerado a média encontrada para a resistência não drenada de pico. Relatou que este

³¹ Memorando de Sco M. Olson para Paulo C. Abrão (Geoconsultoria), 8 de julho de 2016 - *Observations from tailings dam site visits and recommendations for liquefaction analysis of tailings dams and dikes*. Apresentado por Paulo Abrão à Auditoria Fiscal por meio do arquivo “Olson liquefaction analyses_8July2016.pdf”.

valor comparou-se muito bem a valores assumidos dos ensaios Triaxiais no cálculo do coeficiente de segurança de 1,3, obtido na ocasião da emissão do RISR de 2016 (Documento nº Geoconsultoria VL55-RT05).

Entendemos que o referido estudo teria sido realizado pela Geoconsultoria apenas com o intuito de justificar, por meio de ensaios de laboratório Triaxiais, o emprego, no RISR de 2016, do valor da razão de resistência não drenada de pico de 0,36. **Os altos valores encontrados neste estudo para a razão de resistência não drenada de pico, por meio de ensaios triaxiais, reforçam o comportamento drenado desta variável, incompatível com um estudo de liquefação que deve considerar solos contráteis para determinação de coeficientes de segurança para situação não drenada do barramento.**

Conforme já citado neste relatório da Auditoria Fiscal do Trabalho, a NOTA TÉCNICA SOBRE DISCUSSÃO SOBRE OS ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO emitida pela empresa Potamos (Documento Potamos nº POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067) esclarece tecnicamente que a inclusão de resultados de ensaios Triaxiais com valores de razão de resistência de pico acima de 0,43 para o cálculo da envoltória de resistência de pico contrariam as determinações de Olson na aplicação de seu método (Olson & Mason, op. cit.).

Posteriormente, empresas como a Potamos e a TÜV SÜD adotaram este posicionamento, **aconselhando a não utilização dos resultados de ensaios de laboratórios Triaxiais e Vane Test no cálculo de coeficientes de segurança para a condição não drenada de barramento, pois isto acarretaria o falseamento dos valores de FS encontrados.**

1.3.5 Documento Geoconsultoria VL55-RT-31

Relatório Técnico Comum / Geral Barragem B I Avaliação Técnica Complementar – Análise de Estabilidade Sob Carregamento Não Drenado - Revisão 0, 02/03/2017 – Empresa consultora: Geoconsultoria

No estudo de liquefação a empresa Geoconsultoria, ao calcular o FS para a condição não drenada da B I, replica os mesmos parâmetros utilizados no RISR de 2016, analisado em detalhes neste relatório fiscal no tópico “FATORES DE SEGURANÇA DA BARRAGEM B I”.

Em relação ao cálculo da razão de resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v) obteve-se o valor de 0,36 como sendo a média entre os ensaios de campo (CPTu, SPT e Vane Tests) e os ensaios Triaxiais.

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Conforme já observado em análises de documentos anteriores, o estudo de liquefação elaborado pela Geoconsultoria incluiu os ensaios de laboratório Triaxiais e ensaios Vane Test para a determinação da envoltória de resistência de pico (S_u/σ'_v), o que não é previsto originalmente na metodologia proposta por Olson (op. cit.)

Tal conduta implicou no aumento do valor da envoltória de resistência de pico do material, aumentando, consequentemente, os FS para a condição não drenada do barramento, em contraposição à boa técnica de engenharia que deve priorizar uma conduta mais conservadora para determinação dos FS.

1.3.6 Documento Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0019 e documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-057/17

Cálculo do Risco Mone zado para Barragens e Diques Barragem I - Relatório Técnico Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem. Documento. Revisão 3. 10/07/2018 – Empresas consultoras: Potamos e TÜV SÜD

Em 24/10/2017, as empresas consultoras Potamos e TÜV SÜD emi ram a Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem I (POTVAL02G2-1-TC-RTE-0019 e documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-057/17), Revisão A, e nesta emissão inicial não foi contemplada a probabilidade de ruptura da B I por liquefação, constando na análise apenas a ruptura por galgamento.

Em 20/11/2017, o documento ora analisado foi revisado (Revisão 0), e passou a contemplar a probabilidade de ruptura da B I por liquefação, e nesta revisão indica que para o cálculo do FS foi u lizada a metodologia de Olson (op. cit.) e que o rejeito da B I era susce vel a liquefação segundo Silva³² e Geoconsultoria (2016 e 2017).

Informa que nos úl mos estudos realizados (Geoconsultoria 2016 e 2017) obteve-se uma envoltória da resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v) igual a 0,36, que considerou ensaios de CPTu (2005 e 2016) e ensaios de laboratório (2016).

A par r daí as empresas Potamos e TÜV SÜD realizaram uma crí ca em relação à inclusão dos ensaios de laboratório Triaxiais nas análises de liquefação. Ao final não consideraram estes ensaios para o cálculo da envoltória da resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v) em razão de uma série de inconsistências nos resultados dos mesmos.

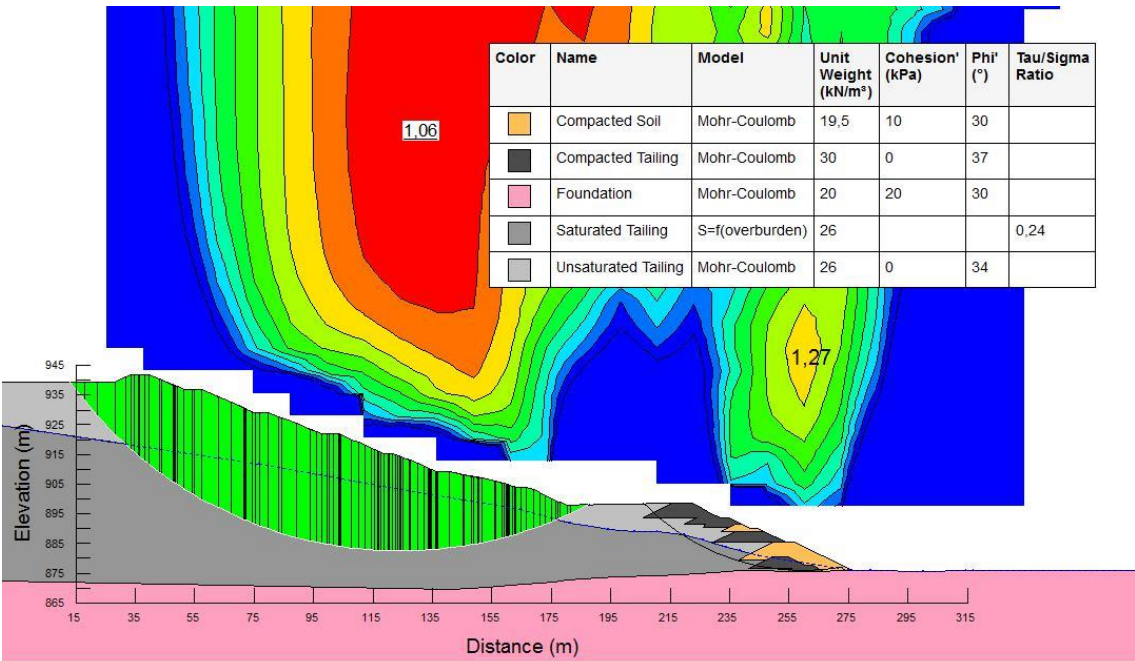
Em relação à inves gação por CPTu, foram u lizados dados das campanhas de 2005 e 2016. A Potamos e a TÜV SÜD optaram por interpretar a razão de resistência não drenada de pico exclusivamente a par r de ensaios CPTu **segundo recomendações do PIESEM promovido pela Vale em 2017**. Assim foi ob do um limite inferior de 0,22 e superior de 0,27 para a envoltória da resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v). Para a análise determinís ca considerou-se a média aritmé ca entre os dois limites, ou seja, $S_u/\sigma'_v = 0,24$ para a resistência de pico.

Foi considerado que todo o rejeito saturado abaixo da super cie piezométrica é susce vel à liquefação **conforme recomendação do PIESEM**. Obteve-se um FS de 1,06 para a resistência de pico na condição não drenada da B I, conforme figura 142, extraída do documento.

Dando con nuidade à metodologia de Olson (op. cit.), as empresas Potamos e TÜV SÜD adotaram o valor de $S_u/\sigma'_v = 0,07$ como sendo a envoltória da resistência não drenada pós-pico (residual) ob do pela retroanálise da liquefação da Barragem do Fundão. Ao final encontraram o FS para análise pós-pico de 0,39, conforme figura 143, extraída do documento.

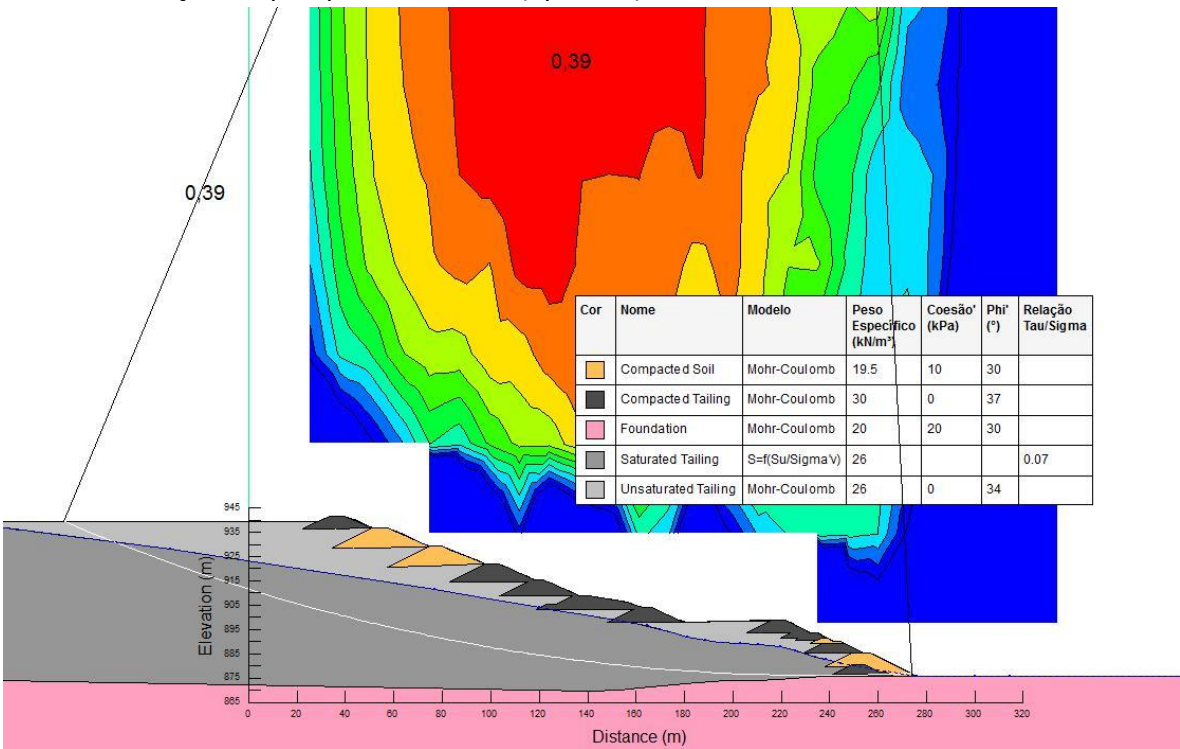
³² Silva, W. P. Estudo do potencial de liquefação está ca de uma barragem de rejeito alteada para montante aplicando a metodologia de Olson (2001). Mestrado profissional em engenharia geotécnica. Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. Julho de 2010. 120 p.

Figura 142: Análise determinística para o talude jusante em condições não-drenadas - cenário 1, condição de pico, FS = 1,06 (Spencer)



Fonte: Cálculo do Risco Moneizado para Barragens e Diques Barragem I - Relatório Técnico Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem. Documento Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0019 e documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-057/17. Revisão 0, Pág. 75

Figura 143: Análise determinística para o talude jusante em condições não-drenadas - cenário 1, condição de pós-pico, FS = 0,39 (Spencer)



Fonte: Cálculo do Risco Moneizado para Barragens e Diques Barragem I - Relatório Técnico Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem. Documento Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0019 e documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-057/17. Revisão 0, Pág. 76

Novamente, em 20/12/2017, o documento é revisado (Revisão 1), porém os parâmetros para o cálculo dos FS para a condição não drenada permaneceram inalterados, bem como os valores dos FS (1,06 para a resistência de pico e 0,39 para análise pós-pico).

Em 20/05/2018 é emi da nova revisão do documento (Revisão 2), e observa-se que ocorreram pequenas alterações nos dados dos parâmetros do solo, obtendo-se novos valores dos fatores de segurança (FS de 1,09 para a resistência de pico e FS de 0,44 para análise pós-pico). Por fim, em 10/07/2018, ocorre a última revisão do documento (Revisão 3), e nela foram mantidos os FS para a condição não drenada para uma análise determinística dos mesmos.

Esta revisão contempla ainda análises de probabilidades de ocorrência da liquefação em cenários (Cenário 1 - Resistência Residual ; Cenário 2 - Ganhos desconhecidos; Cenário 3 - Ganhos de sismo) e para todos os cenários a frequência é a atual. O Cenário 1 (Resistência Residual) trata da ocorrência de evento incerto atingindo a resistência residual do material suscetível sem mobilizar a resistência de pico. Para avaliação deste cenário **“foi considerado que as camadas suscetíveis apresentam razão de resistência residual e que a obra estará submetida apenas aos carregamentos de peso próprio da estrutura.”** (grifo nosso).

De posse dos resultados da simulação determinística do FS para análise pós-pico foram realizadas 500.000 simulações pelo método de Monte Carlo, e “como houve convergência satisfatória da frequência de ruptura ($FS < 1$) podemos adotá-la para estimar a probabilidade de ruína. Assim, estima-se probabilidade de ruína, caso a resistência residual venha a ser mobilizada, como sendo **$P[FS < 1] = 100,00 \%$** ”.

Para o Cenário 1, as empresas Potamos e TÜV SÜD expressam no documento que “a probabilidade de ocorrência de liquefação deste cenário está condicionada à ocorrência de um evento que mobilize a resistência residual, tal qual carregamentos cíclicos, recalques diferenciais na fundação ou **outros ganhos que sequer foram levantados** [grifo nosso] no item 8.3. Assim, não é possível avaliar com precisão a probabilidade de ocorrência destes eventos, de forma que será **estimada** a probabilidade **$P[\text{evento}] = 10^{-5}$** .”

Conclui-se que a probabilidade de ocorrência de liquefação para o cenário 1 será **$P_{liq} = P[\text{evento}] \times P[FS < 1] = 10^{-5} \times 1 = 10^{-5}$** .

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

O estudo de liquefação realizado pela empresa Potamos e TÜV SÜD adotou uma conduta coerente com os métodos mais aceitos pela comunidade técnica mundial e observou na íntegra, sem ressalvas, a metodologia de Olson (op. cit.) e as recomendações do PIESEM promovido pela Vale em 2017.

Com uma visão prevencionista, adotou uma postura conservadora na análise de liquefação da B I diante das incertezas existentes sobre as características da massa de rejeito e da sua resistência em relação à suscetibilidade à liquefação.

O Cenário 1 para liquefação da B I estimou uma probabilidade de ruína do barramento em 100%, caso a resistência residual das camadas suscetíveis seja mobilizada por ganhos que sequer foram considerados no estudo.

O estudo apresenta ao final fatores de segurança baixos para a condição não drenada ($FS=1,09$ para resistência de pico e $FS=0,44$ para pós-pico) que demandariam a adoção pela

Vale de medidas corretivas imediatas no barramento após o acionamento do plano de ação de emergência da B I, em nível 3 (ruptura iminente).

1.3.7 Documento Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067

Cálculo do Risco Monetizado para Barragens e diques Barragem I Nota Técnica Discussão Sobre os Ensaios de Campo e Laboratório. Documento. Revisão 0. 12/01/2018 – Empresa consultora: Potamos

Nesta nota técnica a empresa Potamos apresentou as considerações relativas à definição da razão de resistência não drenada de pico do rejeito para os estudos de liquefação da B I no âmbito do GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos da Vale.

Para tanto, realizou uma análise dos estudos de liquefação elaborados pela empresa Geoconsultoria e apresentou dados e critérios das campanhas de investigação da B I realizadas nos anos de 2005 e 2016. Também investigou os resultados dos ensaios realizados e emitiu parecer consubstanciado de dados técnicos sobre quais ensaios apresentariam confiabilidade para serem incluídos nos estudos de liquefação observando a metodologia de Olson (op. cit.), basicamente ensaios de CPTu e SPT, e sobre quais deveriam ser desconsiderados para o cálculo da envoltória da resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v), referindo-se aos ensaios Triaxiais e Vane Tests.

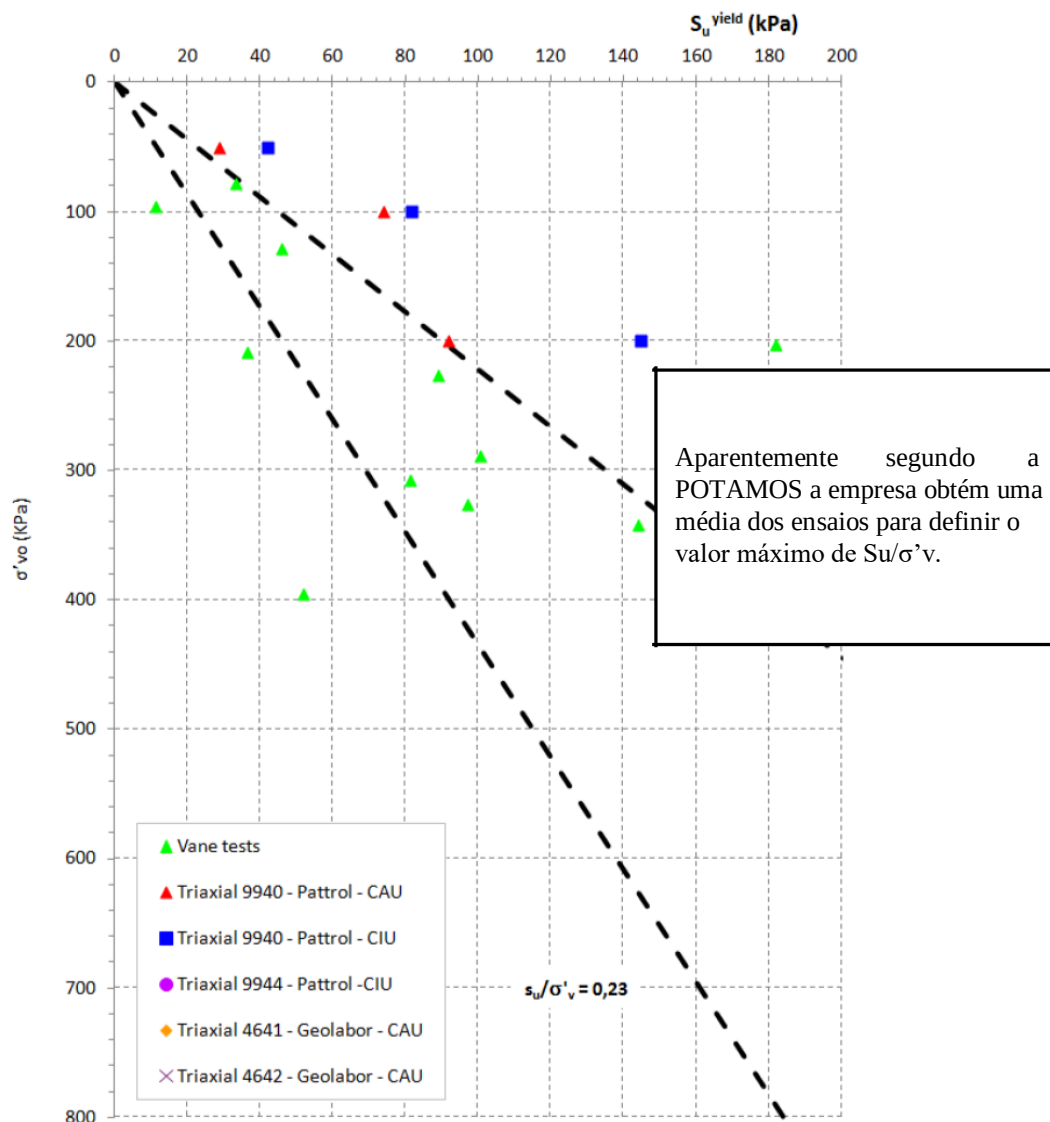
A Potamos começou seu trabalho com a análise dos estudos de liquefação emitidos pela Geoconsultoria, e inicialmente parte do documento nº VL47-RT-04 – Barragem I – Estudos de Liquefação Análises de Estabilidade – Relatório Técnico, referendado no texto como Doc. [6], elaborado pela Geoconsultoria em 15 de julho de 2016.

Esclareceu que o estudo de liquefação contido no referido documento utilizou resultados de campanhas de investigações de campo e laboratório realizadas em 2005 e 2016, além de condições piezométricas existentes. Este estudo reportou valores de razão de resistência entre 0,22 a 0,29 considerando somente ensaios CPTu e SPT, segundo a metodologia de Olson (op. cit.), e considerou que toda massa de rejeitos abaixo do nível de água presente no reservatório é suscetível à liquefação.

A Potamos concordou com a análise do documento nº VL47-RT-04 mencionando que foram obtidas também razões de resistência a partir da análise de **ensaos Triaxiais e Vane Tests** que apresentaram uma faixa de variação de 0,23 a 0,45. Concluiu que a empresa Geoconsultoria havia feito um estudo em que a razão de resistência mínima de pico (S_u/σ'_v) teria que ser 0,40 para que fosse alcançado o FS mínimo exigido pela metodologia de Olson (op. cit.), isto é, FS=1,3.

A Potamos observou ainda que a variação da envoltória da resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v) compreendeu a faixa de valores de 0,22 a 0,45 considerando ensaios de campo e laboratório e que o valor máximo (0,45), definido nos ensaios Triaxiais e Vane Tests, pode ser considerado elevado para o material em estudo, conforme dados disponíveis na bibliografia (Olson, 2016). A figura 144 apresenta gráfico ilustrando os valores de resistência adotados pela Geoconsultoria em sua análise.

Figura 144: Razões de resistências não drenadas de pico obtidas pela Geoconsultoria, considerando ensaios Vane Test e triaxiais



Fonte: Cálculo do Risco Moneizado para Barragens e Diques Barragem I Nota Técnica Discussão Sobre os Ensaios de Campo e Laboratório. Documento Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067. Revisão 0, Pág. 10

A seguir a empresa Potamos analisou o documento nº VL55-RT05 – Auditoria 2016 – Comum/Geral – Barragem I – Relatório Técnico da Auditoria Extraordinária – Relatório de Inspeção de Segurança Regular, referenciado no texto como Doc. [7], elaborado pela Geoconsultoria em 30 de agosto de 2016, e indicou que as campanhas de investigações dos anos 2005 e 2016 consideradas para a análise de estabilidade são as mesmas do documento nº VL47-RT-04 elaborado pela própria Geoconsultoria.

A Potamos expressou que, apesar das campanhas serem idênticas, as faixas das razões de resistência de pico são diferentes, pois o estudo nº VL55-RT05 apresenta uma faixa de valores da razão de resistência de pico (S_u/σ'_v) de 0,24 (mínimo) a 0,60 (máximo), com média de 0,36, e **que, aparentemente, para se obter o valor máximo (0,60), considerou-se o limite superior dos ensaios Triaxiais relativos a uma única amostra, a 9940.** O valor mínimo (0,24) foi obtido através da média dos ensaios de campo (CPTu e SPT).

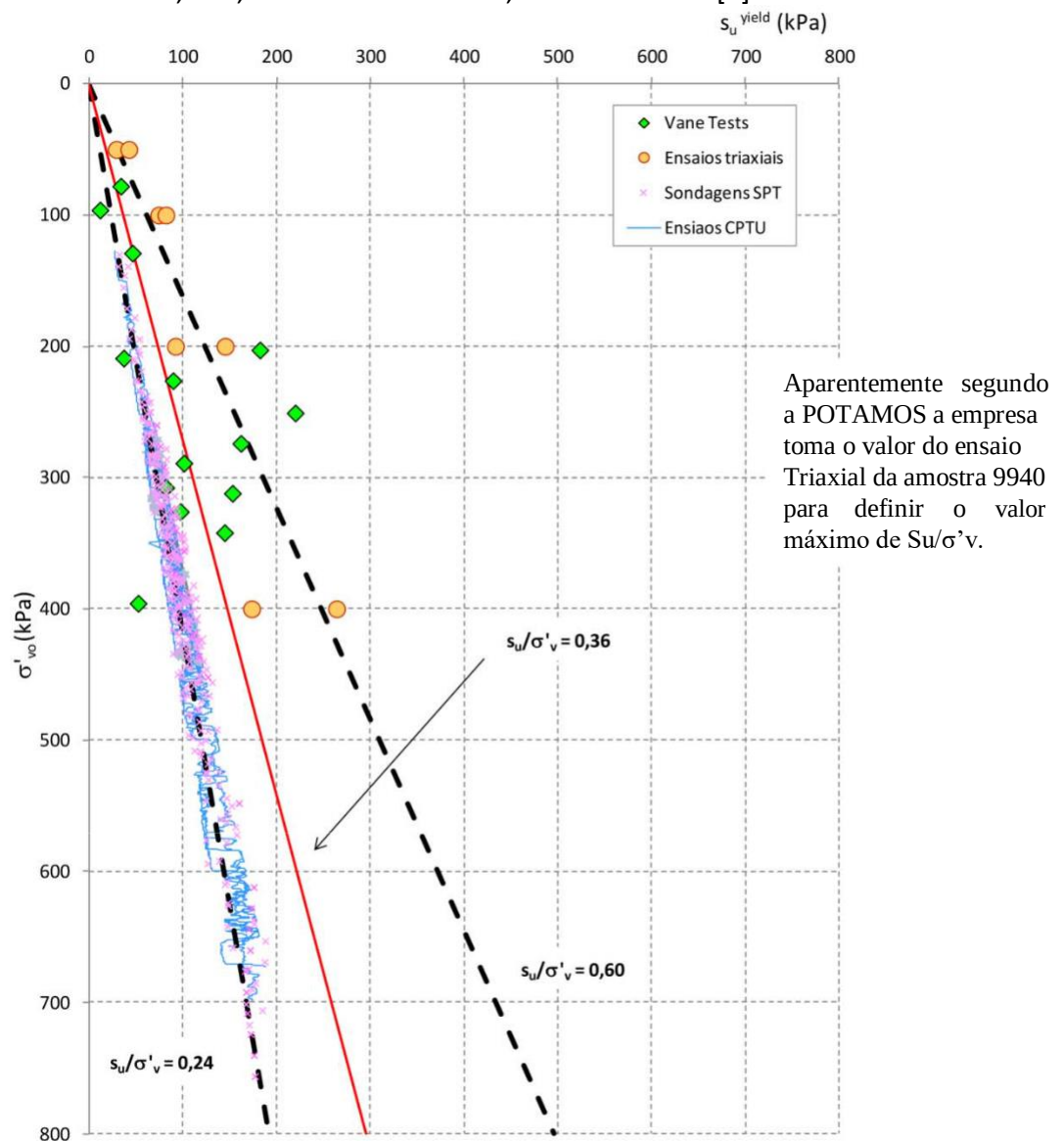
Com essa nova abordagem de parâmetros obteve-se um FS para a condição não drenada de pico igual a 1,3, que consiste no valor mínimo de segurança para esta condição definido pela metodologia de Olson (op. cit.).

A seguir reproduzimos o trecho do documento onde a Potamos relata o critério utilizado pela Geoconsultoria para a definição do valor máximo da razão de resistência de pico (S_u/σ'_v):

Aparentemente, o valor máximo da faixa considerou o limite superior dos ensaios triaxiais conduzidos na amostra 9940 com corpos de prova indeformados. Já o valor mínimo parece ter sido obtido por uma média dos ensaios de campo. Com essa nova abordagem de parâmetros de razão de resistência de pico, o fator de segurança obtido para a estrutura com relação à liquefação para pico de resistência não drenada, foi de 1,3 (considerando-se a aproximação para uma casa decimal) utilizando-se a razão de resistência de pico igual a 0,36 para os rejeitos abaixo do nível de água.

A figura 145 ilustra os valores de resistência adotados pela Geoconsultoria nesta nova análise.

Figura 145: Razões de resistências não drenadas de pico obtidas pela Geoconsultoria, considerando ensaios CPTu, SPT, Vane Test e triaxiais, conforme Doc. [7]



Fonte: Cálculo do Risco Moneθzado para Barragens e Diques Barragem I Nota Técnica Discussão Sobre os Ensaios de Campo e Laboratório. Documento Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067. Revisão 0, Pág. 12

Dando sequência em sua abordagem, a Potamos fez uma análise do documento nº VL47-RT-08 – Barragem I – Estudos de Liquefação Ensaios de Laboratório – Relatório Técnico, referenciado no texto como Doc. [8], elaborado pela empresa Geoconsultoria em 20 de dezembro de 2016.

Neste documento a empresa Geoconsultoria, a pedido da Vale, apresentou estudos de liquefação incorporando resultados de laboratórios e concluiu que os ensaios Triaxiais conduzidos em amostras indeformadas resultaram em razões de resistências elevadas e comportamento dilatante, sendo desprezados corretamente.

Informou também que a Geoconsultoria havia realizado ensaios Triaxiais com corpos de provas moldados e obteve um valor médio da razão de resistência não drenada de pico (s_u/σ'_v) igual a 0,54. Utilizando-se este valor, o FS da estrutura calculado em estudo de estabilidade seria maior que o mínimo exigido ($FS=1,3$).

A Potamos, por último, analisou o documento nº VL55-RT31 – Relatório Técnico Comum/Geral – Barragem I – Avaliação Técnica Complementar – Análise de Estabilidade Sob Carregamento Não Drenado, referenciado no texto como Doc. [9], elaborado pela empresa Geoconsultoria em 2 de março de 2017.

Neste documento a empresa Geoconsultoria apresentou nova revisão dos estudos de liquefação considerando a execução complementar de 3 ensaios CPTu e 1 Vane Test em relação a auditoria de 2016. Este é o documento mais atualizado sobre o tema liquefação da B I e a faixa considerada da razão de resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v) varia de 0,24 a 0,60, com valor médio de 0,36. Neste estudo não foram considerados ensaios Triaxiais com corpos de prova moldados, somente foram considerados os conduzidos na amostra 9940 com corpos de prova indeformados.

Após avaliar os estudos de liquefação elaborados, a empresa Potamos iniciou as suas considerações dos resultados dos ensaios CPTu, SPT, Triaxiais e Vane Tests e a sua aplicação na definição das razões de resistência.

Em relação aos ensaios CPTu e SPT das campanhas de 2005 e 2016, a Potamos avaliou que seus resultados foram considerados coerentes com experiências anteriores com materiais similares e com a literatura técnica a respeito, portanto, considerados satisfatórios para aplicação nos estudos, sendo que os resultados encontrados dos cálculos da razão de resistência de pico obedecem ao proposto por Olson (2001). Os valores encontrados para a razão de resistência de pico variaram entre 0,22 e 0,29 e confirmaram as faixas obtidas para esses ensaios pela Geoconsultoria.

Quanto aos ensaios Vane Tests realizados nas campanhas de 2005 e 2016, os seus resultados foram desconsiderados pela Potamos para a obtenção da razão de resistência, face às incertezas quanto aos ensaios **não ocorrerem em condição não drenada**, tendo em vista que a velocidade padrão de rotação da palheta não é rápida o suficiente ante as condições de dissipação de pressão neutra do rejeito.

Neste caso, desenvolve-se uma situação parcial ou totalmente drenada no ensaio, o que leva a valores irreais (elevados) de razão de resistência “não drenada” de pico. Isso foi discutido por Olson, 2016.

No tocante aos ensaios Triaxiais, a Potamos realizou uma verificação consistente dos dados brutos dos resultados dos ensaios apresentados, dividindo sua análise na campanha de 2005 desenvolvida pela empresa Geolabor e a de 2016 realizada pela empresa Patrol.

Os resultados brutos dos ensaios apresentados para a campanha de 2005 (Geolabor) apresentaram-se consistentes e dentro do padrão esperado, considerando a programação de ensaios e as características das amostras e estado físico dos corpos de prova ensaiados.

A Potamos constatou que a campanha de ensaios Triaxiais da Geolabor foi conduzida em corpos de prova talhados a partir de amostras indeformadas e, durante o cisalhamento, quase todos os corpos apresentaram comportamento dilatante, o que impede sua utilização para os estudos de liquefação. Tais estudos exigem amostras com comportamento contrátil. Várias amostras também não apresentaram estabilização das poropressões e das “tensões desviatórias”, e ao final não se conseguiu configurar a liquefação completa e a resistência residual.

A Potamos constatou que foram verificadas algumas inconformidades numéricas nos dados brutos dos resultados dos ensaios Triaxiais da campanha de 2016 realizados pela empresa Patrol. Essas inconsistências, encontradas no relatório de ensaios emitido pelo laboratório, estão relacionadas a diferenças observadas entre a folha resumo do ensaio, que inclui os principais elementos do corpo de prova, da condução do ensaio e da ruptura, bem como o gráfico “tensão x deformação”, quando comparada com a tabela detalhada dos dados medidos ao longo do desenvolvimento do ensaio.

Verificou-se que os valores de tensões, associados à mesma deformação, são distintos nos dois locais descritos acima, incluindo-se aí os valores de tensão desviatória na ruptura.

A Potamos registrou que a questão da inconsistência de dados já seria suficiente para desprezar os resultados dada a falta de confiabilidade, mas vai além em seu parecer ao avaliar o comportamento dos corpos de prova quando ensaiados.

Observou que a campanha de ensaios Triaxiais de 2016 foi conduzida em corpos de prova obtidos de amostras indeformadas e também moldados a partir de amostras deformadas. Um dos aspectos notados foi que vários corpos de prova apresentavam comportamento dilatante durante a fase de cisalhamento. Também vários corpos de prova nas máximas deformações de ensaio apresentaram tensões cisalhantes que não eram constantes o que impede que se defina a razão de resistência liquefeita.

Por fim, a Potamos ressaltou que a grande maioria dos corpos de prova ensaiados (76%) pela empresa PATROL apresentou valores de razão de resistência de pico acima de 0,43, limite superior da faixa registrada na bibliografia para ensaios triaxiais, conforme se observa na tabela 14. com dados apresentados em Olson & Mason (op. cit.) de valores picos de razão de resistência de pico obtidos para diferentes tipos de ensaios e retroanálise de rupturas por liquefação.

Tabela 14: Resumo das razões de resistência obtidas via ensaios e através de retroanálise de casos reais de acordo com Olson & Mason (op. cit.)

Parameter	Response type	Mode of shear			Field case histories
		Triaxial compression	Direct simple shear and rotational shear	Triaxial extension	
Yield					
$s_u(\text{yield})/\sigma'_{vo}$	A, B	0.18–0.43	0.13–0.29	0.11–0.24	0.23–0.31
Yield friction angle (°)	A, B	16–26.5	12–23	11–23	~13–17
Liquefied					
$s_u(\text{liq})/\sigma'_{vo}$	A, B	0.01–0.32	0.01–0.22	0.01–0.19	~0.05–0.12 (avg. 0.09)
	A	0.01–0.23	0.01–0.16	0.01–0.11	

Fonte: Cálculo do Risco Monetizado para Barragens e Diques Barragem I Nota Técnica Discussão Sobre os Ensaios de Campo e Laboratório. Documento Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067. Revisão 0, Pág. 26

A Potamos concluiu sua nota técnica esclarecendo que o parâmetro da razão de resistência não drenada de pico (S_u/σ'_v) nos estudos referentes à liquefação da B I elaborados pela empresa Geoconsultoria foi definido com base na avaliação conjunta de resultados de ensaios de campo (SPT, CPTu e Vane Test) e ensaios Triaxiais de laboratório.

Conclui ainda em relação aos ensaios Vane Tests que estes não devem ser considerados para a definição do parâmetro em razão de valores extremamente dispersos e superiores aos apresentados na bibliografia para materiais similares. Ainda há a questão desfavorável da

velocidade padrão de rotação da palheta no ensaio que não é rápida o suficiente ante as condições de dissipação de pressão neutra do rejeito, que pode levar a condições drenadas ou parcialmente drenadas de resistência. Portanto, não podem ser consideradas já que se busca a razão de resistência não drenada.

Quanto aos ensaios Triaxiais de laboratório, várias inconsistências foram levantadas como: as inconformidades entre os dados brutos apresentados; os corpos de prova com comportamento dilatante; a resistência liquefeita de valor negativa; os valores de razão de resistência de pico muito dispersos e, em muitos casos, bem acima do que se encontra na literatura para ensaios similares; e a representatividade da condição inicial dos corpos de prova em relação ao depósito de rejeitos real.

Em função desses aspectos elucidou que os resultados dos ensaios Triaxiais não devem ser considerados para a definição da razão de resistência de pico não drenada e enfatizou que o modo de cisalhamento nesses ensaios levou a razões de resistência de pico superiores às que se determina para o modo de cisalhamento que ocorre nas liquefações de campo. Este fato deve sempre ser levado em conta para a utilização de dados destes ensaios na definição dos parâmetros de projeto.

Ao final a Potamos conclui que para a razão de resistência de pico para os estudos da Gestão de Riscos Geotécnicos da Vale – GRG deve ser adotada uma faixa variando entre 0,22 e 0,29, valores esses obtidos a partir da interpretação dos resultados dos CPTu e SPT.

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

A empresa Potamos elaborou uma nota técnica consistente e esclarecedora sobre questões envolvendo o estudo de liquefação da B I.

Ao investigar os estudos de liquefação já elaborados constatou a falta de critérios e a inconsistência de dados de ensaios na determinação do parâmetro da razão de resistência não drenada de pico que é utilizado para o cálculo do FS para a condição não drenada.

Uma inconsistência apurada pela Potamos diz respeito ao critério adotado pela empresa Geoconsultoria para o cálculo do limite superior da razão de resistência não drenada de pico, limite este que foi extraído dos resultados dos ensaios Triaxiais e Vane Tests.

O estudo de liquefação nº VL47-RT-04, emitido em julho de 2016, apresentou um limite superior igual a 0,45 para o parâmetro da razão de resistência não drenada de pico e o RISR (documento nº VL55-RT05) apresenta um limite superior de 0,60 para o mesmo parâmetro, apesar dos dados de ensaios utilizados serem os mesmos para ambos os documentos.

Esclareceu que **o valor máximo da faixa da razão de resistência não drenada de pico igual a 0,60 (constante no RISR) foi obtido aparentemente do limite máximo dos ensaios Triaxiais na amostra 9940. Ao utilizar este limite para obter a média da razão de resistência não drenada de pico, que segundo o documento foi de 0,36, obteve-se um FS para a condição não drenada de pico igual a 1,3, que consiste no valor mínimo de segurança para esta condição definido pela metodologia de Olson (op. cit.).**

Caso a Geoconsultoria adotasse o limite superior de 0,45 encontrado no estudo de liquefação nº VL47-RT-04, provavelmente o FS para a condição não drenada de pico seria inferior a 1,3. Esta situação poderia implicar na necessidade de verificar a estabilidade da B I por parâmetros residuais, e, dependendo do FS encontrado, resultar no parecer de não

estabilidade para a condição não drenada do barramento, impedindo a emissão da DCE no ano de 2016.

Outra inconsistência apurada pela Potamos em relação aos estudos de liquefação da Geoconsultoria diz respeito aos valores máximos dos ensaios Triaxiais que poderiam ser empregados para o cálculo da razão de resistência não drenada de pico. Segundo Olson & Mason (op. cit.), tais valores não deveriam ser superiores a 0,43, limite superior da faixa registrada na bibliografia para ensaios Triaxiais. Porém em seus estudos de liquefação a Geoconsultoria utilizou valores acima da referência bibliográfica, possibilitando deste modo a majoração dos FS para a condição não drenada da B I.

A Potamos também realizou uma avaliação técnica robusta sobre a questão de incluir os ensaios de Vane Tests e Triaxiais no cálculo da razão de resistência não drenada de pico para a B I. No primeiro caso, os ensaios Vane Tests deveriam ser descartados em razão das incertezas de não ocorrerem em condição não drenada, tendo em vista que a velocidade padrão de rotação da palheta não é rápida o suficiente ante as condições de dissipação de pressão neutra do rejeito.

No segundo caso, os ensaios Triaxiais também não deveriam ser considerados tendo em vista que várias inconsistências foram levantadas como: as inconformidades entre os dados brutos apresentados; os corpos de prova com comportamento dilatante; a resistência liquefeita de valor negativa; os valores de razão de resistência de pico muito dispersos, e em muitos casos, bem acima do que se encontra na literatura para ensaios similares; e a representatividade da condição inicial dos corpos de prova em relação ao depósito de rejeitos real.

Em vista do estudo apresentado pela Potamos, entendemos que somente os ensaios de campo CPTu e SPT deveriam ter sido incluídos no cálculo do parâmetro da razão de resistência não drenada de pico para a B I. Assim, a Gestão de Riscos Geotécnicos da Vale deveria ter adotado a faixa de valores variando entre 0,22 e 0,29 (desconsiderando os resultados de ensaios Triaxiais e Vane Test) para o parâmetro e não o valor de 0,36 utilizado pela Geoconsultoria e validado pela Vale ao assinar a DCE de 2016.

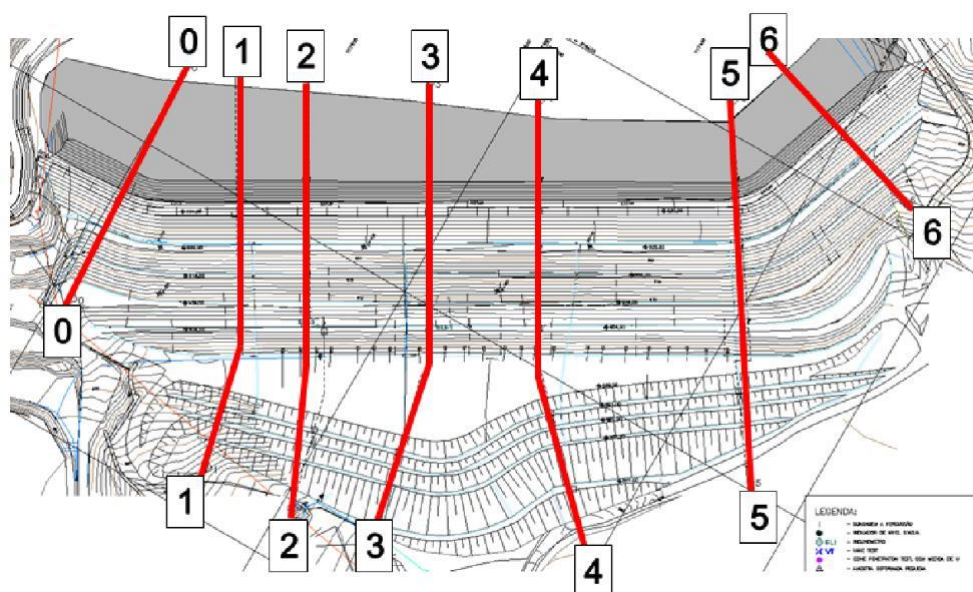
1.3.8. Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-117/17

Revisão Periódica de Segurança de Barragem Mina Córrego Feijão – Barragem I Relatório Técnico. Revisão 4. 24/08/2018 – Empresa consultora: TÜV SÜD

A Vale contratou a empresa TÜV SÜD para elaborar a Revisão Periódica de Segurança da Barragem B I. Neste documento a TÜV SÜD realizou novas análises de estabilidade para a condição drenada e não drenada do barramento em questão. A metodologia adotada, bem como os cálculos e valores obtidos para FS são os mesmos com os do RISR de 2018 da B I (Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-100/18, Revisão 0), já citado.

Apresentamos em seguida informações que entendemos relevantes sobre a análise de liquefação da B I contida no documento. A figura 146, dele extraída, cita as seções instrumentadas do barramento que foram objeto de estudo para as análises de estabilidade.

Figura 146: Localização das seções instrumentadas da Barragem I



Fonte: Revisão Periódica de Segurança de Barragem Mina Córrego Feijão – Barragem I Relatório Técnico.
Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-117/17. Revisão 4, pág. 73

A TÜV SÜD expressou uma preocupação no documento em relação à não realização de uma investigação geotécnica mais aprofundada nas seções da B I. Citou que esta condição acarretou a extrapolação de dados das seções 2-2 e 3-3 para a seção 4-4, implicando no surgimento de incertezas em relação às reais condições estruturais da barragem, inclusive com repercussão no cálculo do FS que define a sua condição de estabilidade.

A seguir citamos trecho extraído do documento que menciona as extrapolação realizadas entre as seções, conforme figura 147.

Figura 147: Trecho da RPS da B I com menção à extrapolação dos dados da seções analisadas

A interpretação do nível freático nas três seções transversais analisadas foi apresentada anteriormente na Figura 8.10, na Figura 8.11 e na Figura 8.12.

Entretanto, a interpretação dos ensaios *in-situ* de piezocone (CPTu) apresentada no Apêndice E, permitiu a identificação de piezometrias variáveis com a profundidade de maneira não hidrostática que correspondem à condição de lençóis empoleirados em rejeito granular sobre lentes de rejeito mais fino. Trata-se de condição mais realista que a hipótese usual de Dupuit, a qual considera uma freática definida por monitoramento e equipotenciais verticais.

Deste modo, os perfis de poropressão determinados pelos CPTus foram inseridos nas seções transversais 2-2 (Figura 10.4) e 3-3 (Figura 10.5), possibilitando a observação de diferentes lençóis empoleirados e a identificação das bases de tais empoleiramentos, localizadas em material de baixa permeabilidade (lente de material mais fino).

A partir da localização destes materiais menos permeáveis responsáveis pelo empoleiramento dos vários lençóis freáticos (traços vermelhos nas figuras ---), foram estimadas camadas de rejeito em concordância com os níveis de alteamentos da barragem, com continuidade transversal (entre CPTus) e longitudinal (entre seções). Em seguida, esta subdivisão das camadas foi extrapolada para a Seção 4-4 (de máxima altura).

Salienta-se que a hipótese de lençóis empoleirados e, principalmente, a extrapolação dos mesmos para a Seção 4-4, envolvem incertezas que devem ser eliminadas por meio da instalação de novos piezômetros multi-níveis em locais estratégicos (lacunas sem informação, instalados um em cada camada).

Fonte: Revisão Periódica de Segurança de Barragem Mina Córrego Feijão – Barragem I Relatório Técnico.
Documento TÜV SÜD Bureau RC-SP-117/17. Revisão 4, pág. 84

Segundo o documento, para a avaliação do potencial de liquefação considerou-se que algo imprevisível (ga lho) poderia ocorrer e levar os materiais suscetíveis a liquefação a atingir sua resistência não drenada de pico.

Deste modo, as análises realizadas considerando um ga lho desconhecido resultaram nos $FS = 1,22$ (Seção 2-2 ou C-C), $FS = 1,18$ (Seção 3-3 ou D-D) e **$FS = 1,09$ (Seção 4-4 ou E-E).**

Concluiu que a B I encontrava-se estável quanto à liquefação do rejeito sob condição não drenada com $FS > 1,05$.

Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Conforme já discutido na análise do RISR da B I em setembro/2018, a TÜV SÜD cautelosamente desconsiderou a inclusão de ensaios de laboratórios Triaxiais para o cálculo da envoltória de resistência não drenada e contemplou somente os resultados dos ensaios de SPT e CPTu, adotando inicialmente uma postura conservadora para o cálculo do FS para condição não drenada.

Aqui também nossas observações são as mesmas expostas para aquele RISR. Pela relevância do tema, uma vez que a DCE vigente no dia do acidente foi a emi da com base neste estudo, repetimos estas observações a seguir.

A TÜV SÜD, utilizando o método de Equilíbrio Limite (LE) para o cálculo do FS da B I, chegou ao valor de 1,09 para a seção mais crítica.

A partir daí, a empresa auditora estranhamente passa a desconsiderar fatores de segurança mais conservadores que preconizam que o limite mínimo para o FS na condição não drenada é de 1,3. Se valendo de um vazio legal na norma brasileira nacional, adota como paradigma o valor de FS mínimo acima do valor unitário, ou seja, 1.

Em seguida, para não apoiar-se em um número excessivamente “no limite” da boa engenharia, recorre a um argumento que aponta que pode haver pequenas imprecisões na determinação do FS quando se compara diferentes metodologias para seu cálculo. Com base neste argumento, em uma postura aparentemente conservadora, seleciona uma “margem de segurança” (não deixando muito claro como foi estabelecida) e eleva o FS mínimo, para condição não drenada, de 1 para 1,05.

Conforme citamos acima, observa-se uma falta de clareza no uso do argumento de Leshchinsky e Ambauen para afirmar que o FS mínimo pode ser considerado 1,05. Repetimos as palavras da empresa auditora no trecho em que faz tal afirmação:

Os resultados mostrados por aqueles autores indicam que um fator de segurança superior a 1,05 cobre um possível erro envolvido no método de cálculo utilizado.

Entretanto o artigo citado, que não aborda as questões ligadas a galhos de liquefação, não chega a tratar sobre Fatores de Segurança mínimos aceitáveis.

Cabe salientar que o artigo, citado pela TÜV SÜD no RISR de setembro de 2018, apenas propõe uma nova metodologia de cálculo de Fator de Segurança denominado “DLO-LA”, utilizando programa computacional que é comparado com as metodologias tradicionalmente usadas para o cálculo de FS, como LE.

Nesta nova metodologia, os autores alimentam o sistema computacional com dados hipotéticos para cálculos de FS de barragens de dique único construído por taludes com características geotécnicas predefinidas e chegam à conclusão que o método de cálculo computacional proposto (DLO-LA) leva a cálculos de Fatores de Segurança semelhantes aos métodos tradicionalmente utilizados pela geotecnia (LE).

Em resumo, os autores apenas compararam o seu método com o Método de Equilíbrio Limite para dizer que ambos guardam proximidade entre si em termos de resultado, sem tratar de FS mínimos.

Cabe lembrar que o FS calculado da BI em setembro de 2018 para a seção mais crítica foi de 1,09. Logo, estava acima do novo mínimo de 1,05 adotado pela TÜV SÜD, permitindo, assim, a emissão da Declaração de Condição de Estabilidade.

Salienta-se que, conforme definido no PIESEM (Painel Independente de Especialistas para Segurança e Gestão de Riscos de Estruturas Geotécnicas), realizado pela Vale em **dezembro/2017**³³, o valor do FS mínimo aceitável em condição não drenada de pico seria de **1,3**. Pondera-se ainda que a TÜV SÜD utilizou, quando da elaboração dos RISR e DCE de barragens de outras minas da Vale, no período de 2015 a 2019, um FS mínimo para condição não drenada igual a 1,3.

Ou seja, houve uma clara quebra de paradigma em desfavor da segurança da Barragem I.

Repisando: conforme determinado pela metodologia de Olson (op. cit.), quando o FS para a condição não drenada calculado com o emprego da resistência de pico situar-se entre os valores de 1,1 e 1,3, deve-se fazer nova análise global de estabilidade por parâmetros residuais. Para valores abaixo de 1,1, como foi o caso (obteve-se FS = 1,09), sequer haveria necessidade dessa nova análise, já que certamente obter-se-ia um FS abaixo de 1,0. Conforme análises de estudos de liquefação já mencionados neste relatório fiscal, tal fato implicaria numa situação de instabilidade do barramento e portanto na necessidade de adoção de medidas corretivas emergenciais pela Vale após o acionamento do Plano de Ação Emergencial de Barragens de Mineração – PAEBM da BI, em nível 3 de emergência, e não haveria a emissão da DCE.

³³Specialist's Panel 2nd meeting: Factor of Safety (FS) requirements: Closed dam, undrained (liquefaction trigger, yield) FS $\geq$ 1.3

Capítulo 2: Possíveis gatilhos para a Liquefação da Barragem I

Como citado anteriormente em nossa análise, o fenômeno da liquefação se desencadeia após um evento denominado gatilho. Com os fatos apurados até aqui, nossa análise se limitará a discutir, de maneira não exaustiva, hipóteses plausíveis desse gatilho, com base em dados e no histórico conhecido da B I.

O documento denominado “Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem I”, nº RD-654-RL-41070-00 - Rev. 0, elaborado em 12/2015 pela empresa Pimenta de Ávila Consultoria Ltda., já abordado no capítulo anterior deste relatório, relaciona na sua parte final os potenciais gatilhos para liquefação da B I, que a seguir listamos:

- Sismos;
- Vibrações induzidas por ruptura de taludes naturais;
- Vibrações induzidas por detonações na mina;
- Vibrações induzidas por tráfego de equipamentos;
- Remoção da camada de suporte posicionada no pé da estrutura;
- Instabilização local;
- Movimento rápido da fundação;
- Elevação rápida da superfície freática.

Classificação semelhante foi utilizada em 2018 pela empresa Potamos, no documento Potamos nº POTVAL02G2-1-TC-RTE-0019, Rev. 3, pág. 105.

A partir deste referencial, abordamos na sequência os potenciais gatilhos de liquefação da B I e as considerações sobre eles tecidas pela Pimenta de Ávila, Potamos e pela Auditoria Fiscal do Trabalho.

2.1. Sismos e vibrações induzidas

Em relação a sismos, a empresa Pimenta de Ávila relata que “a região em que se encontra a Barragem I não apresenta registros de sismicidade relevantes. Entretanto, julga-se pertinente um melhor entendimento sobre a sismicidade na área”.

Na época de elaboração do documento, em dezembro de 2015, a Pimenta de Ávila relata que “os taludes naturais localizados no entorno do reservatório da barragem aparentemente se encontram estáveis e bem vegetados, não havendo histórico de mau comportamento geotécnico dos mesmos”.

Quanto a vibrações induzidas por tráfego de equipamentos, relata que “de acordo com a equipe técnica da Vale, não são previstos novos alteamentos para a barragem, o que minimiza a possibilidade de ocorrência de tráfego de equipamentos pela barragem”. Em 2018, a Potamos chegou a conclusão semelhante em relação a esses temas, o que, aliado a informações colhidas em entrevistas e documentos técnicos, corrobora o entendimento da Auditoria Fiscal do Trabalho que descarta essas hipóteses como tendo sido o gatilho que provocou a liquefação da Barragem I.

Quanto a vibrações induzidas por detonações, a Pimenta de Ávila relata que “a mina está localizada a aproximadamente 1,5 km do eixo da barragem na ombreira direita. A mina encontra-se em operação há aproximadamente 40 anos com detonações praticamente diárias, não sendo identificados registros de influência das detonações na estabilidade da barragem”. A Auditoria Fiscal do Trabalho, baseada nas informações colhidas em entrevistas e documentos técnicos, discorre a seguir considerações sobre o tema.

2.1.1. Eventos sísmicos na região de Brumadinho

Após consulta realizada em 21 de fevereiro de 2019 ao Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo/USP (CS/USP), por meio de mensagem eletrônica, o coordenador daquela entidade encaminhou correspondência datada de 23 de fevereiro de 2019 sobre dados de eventos sísmicos registrados pelo CS/USP³⁴ no período de 23 a 25 de janeiro de 2019. Segundo a correspondência citada, detonações em pedreiras e desmontes em minas, geralmente de magnitudes muito baixas (raramente maiores que 2,5), são muito frequentes e não são normalmente listados em seus boletins.

Ainda segundo a correspondência, a maior parte das estações (sismológicas) em Minas Gerais está a mais de 100 km de distância, o que torna a detecção de eventos de baixa magnitude muito difícil e causa uma margem de erro muito grande na determinação de seus epicentros. O Centro de Sismologia não recebe informação das mineradoras sobre suas detonações.

O CS/USP forneceu a relação dos desmontes detectados próximos à Mina de Córrego do Feijão entre os dias 21 e 25 de janeiro de 2019 no raio de 20 km das coordenadas fornecidas, com magnitudes acima de 1,3 quaisquer que fossem seu tipo. A tabela 15 apresenta os dados citados.

Tabela 15 - Desmontes detectados próximos à Mina de Córrego do Feijão entre os dias 21 e 25 de janeiro de 2019

Dia	Hora local	Longitude	Latitude	Magnitude (mR)
21-01-2019	11:45:41	-44.08	-20.12	1.7
22-01-2019	13:21:25	-44.25	-20.10	2.0
23-01-2019	10:50:21	-44.02	-20.18	1.8
25-01-2019	12:34:17	-44.17	-20.13	1.9

Fonte: Centro de Sismologia da USP

Verifica-se que os sismos detectados e induzidos pelas detonações no período foram de baixa intensidade. A correspondência ressalta que a margem de erro nos epicentros acima é da ordem de +/- 10 km, devido à baixa quantidade de estações e grande distância da Mina de Córrego do Feijão.

³⁴Informe sobre os dados de eventos sísmicos (explosões suspeitas) registrados pelo Centro de Sismologia da USP de 21 a 25 de janeiro de 2019

Em mensagem eletrônica datada de 04 de julho de 2019, o Diretor do Centro de Sismologia da USP informou que:

1. O rompimento da barragem se deu às 12:27:58 (Hora Local)
2. Houve uma detonação às 14:28:04 (Hora Universal - correspondente às 12:28:04 no horário local) na mina de Água Limpa, ~100 km a Leste de Brumadinho.
3. Houve uma outra detonação bem perto da mina de Feijão (pode ter sido na própria mina ou em alguma mina vizinha) às 12:34:17, portanto, 6 minutos após o rompimento da barragem. Portanto não detectamos, em 25/01/2019, nenhum indício de detonação (muito menos de tremor natural) nas proximidades da mina de Feijão antes do rompimento da barragem.
4. as Estações de Bonsucesso (BSCB) e Diaman na (DIAM), por estarem bem longe de Brumadinho, registraram “ruído da enxurrada de lama” um pouco depois das ondas sísmicas da detonação de Água Limpa, mesmo que a detonação vesse ocorrido pouco depois do rompimento (e a 100 km de Brumadinho!).

Diante do exposto não há evidências de que tenham ocorrido detonações próximas à Mina, assim como sismos naturais, que pudessem constituir um gatilho do processo de liquefação que resultou no rompimento da B I.

2.2. Remoção da camada de suporte posicionada no pé da estrutura

Em seu documento de 2015, a empresa Pimenta de Ávila relata que “a princípio não estão previstas intervenções na região do pé da barragem que possam acarretar na remoção da camada de suporte no pé da barragem”, o que também foi concluído pela Potamos no documento de 2018 e pela Auditoria Fiscal do Trabalho em função de informações colhidas em entrevistas e documentos técnicos.

2.3. Instabilização local

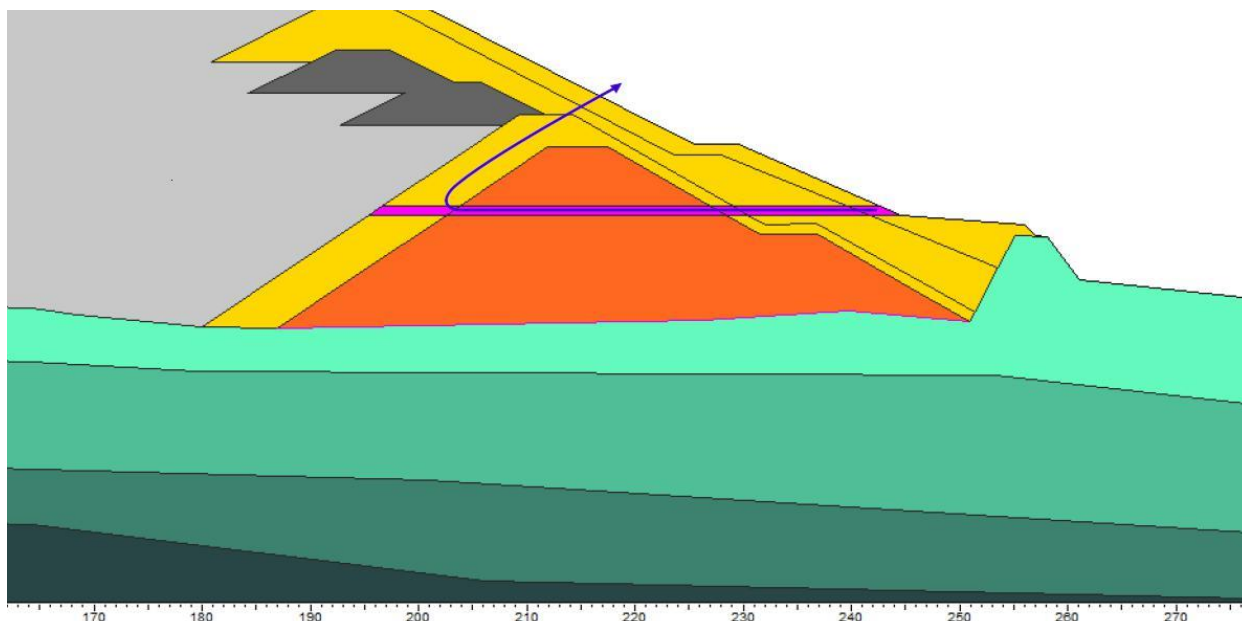
Segundo ainda o mesmo documento da Pimenta de Ávila, “não há indícios de instabilização e/ou mau comportamento geotécnico da barragem. Além disso, foi realizada uma análise de estabilidade probabilística entre bermas, acarretando numa probabilidade de bastante reduzida”.

Contudo, em 11 de junho de 2018, durante a execução do 15º DHP, que ocorria no pé da B I, a água utilizada na perfuração foi surgir em cota superior, mais ao centro da barragem, junto a uma escada de drenagem. Este fenômeno foi tratado pela Vale e por seus consultores como “Fratura Hidráulica”.

Conforme já relatamos, o Eng.º Makoto Namba, representante da TÜV SÜD, empresa responsável pelo gerenciamento da execução dos DHP, informou à Auditoria Fiscal do Trabalho, em 13/03/2019, que “havia a montante do dique de par da uma camada de enrocamento, provavelmente bloco de canga, que impediu que a perfuração do DHP avançasse

naquele local. Como foi aumentada a pressão da água utilizada durante a perfuração do 15º DHP para vencer a camada de enrocamento, a água procurou um local para saída e acabou surgindo alguns metros acima, conforme figura 148.

Figura 148: Em rosa, posição de instalação dos DHP. Em azul, possível caminho da água de perfuração após encontrar a camada de enrocamento (em amarelo) a montante do dique inicial



Fonte: DESCOMISSIONAMENTO BARRAGEM I - ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE DESCOMISSIONAMENTO - RELATÓRIO TÉCNICO - Documento TÜV SÜD RC-SP-145/18, Rev B, pág. 16 (modificado)

Paralisada a perfuração, foi construído um filtro invertebrado no local de surgimento da água e posteriormente reconstituída a escada de drenagem.

Contudo, não existem informações se foi dado algum tipo de tratamento no corpo da fratura (extensão que vai do ponto de introdução da ferramenta até o local onde houve a surgência).

2.4. Perfurações e sondagens a úmido no barramento

Conforme informações obtidas pela Auditoria Fiscal do Trabalho, foram realizadas nos últimos meses antes do rompimento da B I várias atividades de perfuração na Barragem B I.

Embora sejam capazes de acarretar um aumento significativo das poropressões nos rejeitos, identificamos que nos estudos de liquefação para a B I produzidos pelas diversas empresas de consultoria, **as perfurações e sondagens a úmido no barramento não foram consideradas como um possível gatilho.**

A Engenheira Civil e Geotécnica da Vale, Cristina Heloísa da Silva Malheiros, relatou em entrevista realizada no dia 08/02/2019, na Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais - SRT/MG, que, no dia do rompimento da B I, havia uma sonda da empresa Geocontrole trabalhando na base da barragem para coleta de dados para produção do documento *As is* (como está). Também havia uma sonda da empresa Fugro na berma do 8º alteamento executando sondagens SPT e instalando instrumentos como os piezômetros (PZ) em níveis, de acordo com o estabelecido pela sua contratante, a empresa TÜV SÜD.

Conforme informações de representantes da empresa Alphageos Tecnologia Aplicada S.A, entrevistados na SRT/MG em 03/04/2019, o projeto de instrumentação complementar foi elaborado pelo Engenheiro da Vale João Paulo Silva, e a instalação dos PZ em níveis seria realizada pela Fugro.

A Alphageos tem um contrato (nº. 5500047232, assinado em 06 de setembro de 2017) cujo objeto era a prestação de serviço de construção de drenos sub-horizontais, com perfuração roto pneumática convencional, revestimento e complementação de sondagens nas minas do Sistema Sul da Vale e MBR, conforme cláusula primeira do contrato. O contrato era dividido em duas partes: um contrato para instalação de Drenos Horizontais Profundos (DHP) e outro para o *As is* de todas as barragens, junto com a TÜV SÜD.

Neste último contrato estavam previstas sondagens geotécnicas e a instalação de instrumentos de monitoramento. Segundo os prepostos, a empresa “saiu” deste contrato pois a Vale não concordou com a técnica proposta de perfuração a seco, que, segundo Marcelo Santos, Engenheiro Civil, responsável pelas operações de sondagem da Alphageos, é mais segura que a sondagem com a utilização de água, já que o uso desta aumenta o risco de *piping* e fraturamento hidráulico.

Durante a entrevista, a empresa Alphageos forneceu cópias de mensagens eletrônicas trocadas com a empresa TÜV SÜD.

Em 02/09/2018, Makoto Namba enviou mensagem eletrônica para Marcelo e Francisco (Alphageos), com cópia para outros Engenheiros da TÜV SÜD. Ele solicitou avaliação da Alphageos sobre a possibilidade de execução imediata de furos para colocação de 38 piezômetros elétricos e quatro inclinômetros, pois, de acordo com a mensagem: “A Vale tem pressa em desativar a barragem”. Ainda consta da mensagem que, caso a Alphageos não consiga mobilizar rapidamente o equipamento sonda, o contrato será passado para a Fugro.

Em mensagem eletrônica de 03/09/2018, Marcelo (da Alphageos) responde a Makoto Namba, com cópia para Ruy (Alphageos), dizendo que o ideal seria a execução das perfurações

previstas com método *hollow auger*, ou seja, sem injeção de água. Ressaltou que “a execução da perfuração com a u lização de fluído representa um risco muito grande para a integridade da barragem”. Marcelo anexou à mensagem documento do Departamento do Interior Americano in tulado *Guidelines for Drilling and, Sampling in Embankment Dam* (Diretrizes para Perfuração e Amostragem em Barragens de Aterro) (2014)³⁵ sobre diretrizes para perfuração e amostragem de barragens de aterro, destacando que o sistema *hollow auger*³⁶ é a primeira recomendação para esse po de a vidade. A figura 154 mostra o equipamento u lizado nesse po de operação.

Figura 149: Execução de sondagem po *hollow auger* sem u lização de água



Fonte: [h2p://www.ecdambiental.com.br/2011/05/trado-oco-hollow-stem-auger-na-sonda.html](https://www.ecdambiental.com.br/2011/05/trado-oco-hollow-stem-auger-na-sonda.html)

Em 19/09/2018 em e-mail de Makoto para Marcelo e Francisco (c/c: Elysson, Arsênio, Yassuda, Ana Paula, Gabriel), Makoto reclamou que a produ vidade de perfurações no dique 2 de uma barragem (não se informa qual barragem) estava muito baixa, que a *hollow auger* perfurou 5 metros e não nha mais força para con nuar. Sugeriu a u lização de perfuração com máquina rota va com o mínimo de água pois estavam atrasados. Informou que Ruy (Alphageos) disse que não usaria água em maciço de barragem, mas lembrou que na B I a Alphageos estava perfurando os DHP com água sob alta pressão. Disse, ainda, que a TÜV SÜD fez muitas sondagens percussivas e mistas em maciço de barragens.

Em e-mail de 20/09/2018 de Marcelo (Alphageos) para Makoto (c/c: Francisco Neto), Marcelo esclareceu a Makoto que o equipamento u lizado não possuía força suficiente para realizar furos *hollow auger* adequadamente. Que perfuração com u lização de água seria realizada apenas com aprovação de alguém responsável da Vale.

Em 03/10/2018, e-mail de Makoto para Marcelo (Alphageos) informou o recebimento de mensagem eletrônica da Vale reclamando da Alphageos e que queria um empenho da

³⁵Guidelines for Drilling and Sampling in Embankment Dam. U.S Department of the Interior. Bureau of Reclamation. Technical Service Center. Denver, Colorado. April 2014

³⁶*Hollow auger*: haste helicoidal ôca

empresa para a solução dos problemas, pois a a tude da subcontratada estava prejudicando a imagem da TÜV SÜD. Disse que necessitava retomar a confiança da Vale e que: “No momento, é nosso maior e melhor cliente e não podemos deixar que percam a confiança em nós, que foi conquistada a duras penas”.

Em 04/10/2018, em e-mail de Marcelo para Makoto (c/c: Francisco, Elysson, Homa, Fábio, Vinícius, Vivian, Yassuda), Marcelo comunicou a Makoto as dificuldades, no ponto de vista dele, impostas indevidamente pela Vale e abriu mão do contrato.

O Eng.º Makoto Namba, entrevistado na SRT/MG em 13/03/2019, relatou que, entre as alterna vas para melhorar o Fator de Segurança da B I, a Vale optou pelos DHP. Que estes seriam uma boa solução desde que bem executados. Informou que o projeto de execução dos DHP foi elaborado pela Vale e que em 2018 foram instalados quatorze DHP pela empresa Alphageos. Os DHP estavam previstos para a ngir cem metros, comprimento não usual e de di cil execução. Por fim Makoto cita que os DHP não a ngiram cem metros.

Com a re rada da Alphageos do contrato e a suspensão das perfurações para instalação de DHP, a TÜV SÜD contratou a Fugro In Situ para dar con nuidade ao *as is*, incluindo sondagens e instalação dos piezômetros elétricos mul níveis.

Nos dias 20 e 27 de fevereiro de 2019, foram entrevistados na SRT/MG profissionais da empresa Fugro In Situ, entre os quais a Geóloga Laís Antonelli e o Geo sico Luis Gustavo. Informaram que estavam fazendo sondagens com equipamento que u lizava água sob pressão e cujos furos seriam posteriormente aproveitados para instalação dos piezômetros (PZ) e que desconheciam as condições da B I.

E que de 27/09 a 04/12/2018 instalaram piezômetros elétricos de corda vibrante (PZE) da marca Geokom e inclinômetros. Que o furo que estava sendo realizado por ocasião do rompimento da B I deveria chegar até a fundação da barragem e a ngir cerca de 70 metros. Informaram que os ensaios que realizavam na B I eram do po SPT e CPTu. Que nas sondagens foi u lizado *datum* diferente dos dados topográficos fornecidos pela Vale. Declararam que havia previsão de instalação de quarenta PZE e já estavam instalados vinte, sendo alguns mul níveis, quando houve o rompimento da B I. Disseram que a Fugro não faz monitoramento ou coleta de dados dos PZE e que já haviam sido instalados PZ Casagrande.

Os representantes da Fugro também informaram que a empresa fez um estudo geo sico da B I (eletrorresis vidade) que revelou que na base do dique inicial havia um bloco de rocha visível de cerca de 4 metros de largura, por 8 a 10 metros de comprimento, e altura de 2 a 3 metros. Contudo, segundo o Eng. Pedro Carvalho, o rompimento da barragem não se deu pela movimentação do citado bloco. Que com base na análise do filme do rompimento amplamente divulgado pela imprensa, provavelmente, a barragem teria rompido pelo aumento de poropressão.

Segundo o *Guidelines for Drilling and, Sampling in Embankment Dam* (Diretrizes para Perfuração e Amostragem em Barragens de Aterro) já citado, que também foi fornecido à Auditoria Fiscal do Trabalho pela empresa Alphageos, há um potencial real de danos às estruturas das barragens de aterro durante o processo de perfuração se as diretrizes daquele Guia não forem seguidas.

Ainda segundo o documento do Departamento do Interior dos Estados Unidos, citado,, danos criados por fraturamento hidráulico durante o processo de perfuração e/ou a adoção de

métodos inaceitáveis de realização dos furos podem abrir caminho para infiltração que por consequência podem criar condições para conduzir a um *piping* e, enfim, à falência da barragem (doc. cit. p.1). Con nua o documento (p. 7), **“todos os métodos de perfuração que**

u lizam ar ou meios fluídos têm o potencial de causar fraturamento hidráulico”. (grifo nosso)

Segundo o *Guidelines* (p. 9), “perfuração de dupla rotação ou perfuração rota va com fluido não são métodos recomendados para a perfuração em barragens de aterro. **Em qualquer caso, o uso de água pura como meio de perfuração não deve ser permi do no barramento”** (grifo nosso).

Os métodos de perfuração com trado helicoidal oco (*Hollow-Stem Auger*) e o de perfuração sônica são recomendados no documento e não possuem restrições para a perfuração no corpo e em outras áreas de uma barragem de aterro. Se nenhum fluído é adicionado na coluna da haste, não se pressuriza o aterro e não ocorre potencial de faturamento hidráulico.

Ressalte-se que o método de *Hollow Auger* (perfuração a seco), que foi indicado pela empresa Alphageos (conforme mensagens eletrônicas trocadas com a empresa TÜV SÜD) para a execução dos furos de sondagem na Barragem B I, foi descartado pela Vale e pela TÜV SÜD e, desta forma, a Alphageos decidiu se re rar do contrato.

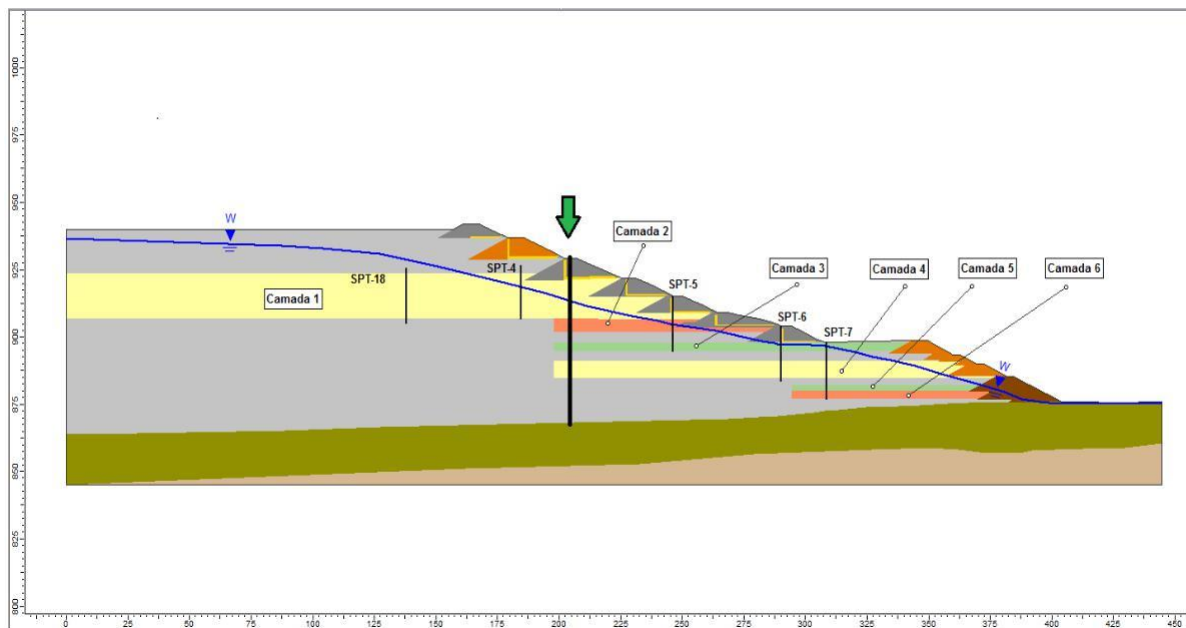
Em subs tuição à Alphageos, foi contratada a empresa Fugro In Situ que realizou em outubro de 2018 nove sondagens mistas com a u lização de perfuratrizes usando água como fluido. Nestes furos foram instalados quatro inclinômetros e nove PZE de corda vibrante. Ressalte-se que a u lização de água como fluído das perfuratrizes era método contra indicado no documento americano.

Salienta-se que após a interrupção da perfuração dos DHP em junho de 2018, foram realizadas nove perfurações ver cais a úmido no barramento pela empresa Fugro de 27/09 a 04/12/2018. Em janeiro de 2019, a empresa voltou a realizar perfurações, sendo que no dia do rompimento da B I foi concluído mais um furo ver cal de 68 m de profundidade a par r da berma do 8º alteamento com uso de uma perfuratriz que u lizava água pressurizada.

O documento “Análise Da Probabilidade De Ruptura Da Barragem I”, nº RD-654-RL-41070-00 - Rev. 0, elaborado pela Pimenta de Ávila em 2015, **expressa que as probabilidades ob das das análises de estabilidade de camadas de rejeito susce veis a liquefação (camadas 1 e 2) foram bastante elevadas** (da ordem de 10^{-1}), tendo em vista os valores baixos dos FS encontrados.

O furo concluído em 25 de janeiro de 2019, por volta das 11:15h, atravessou as camadas 1 e 2 que se mostraram mais crí cas à liquefação. A seta verde na figura 150 extraída do documento indica a localização do furo de 68 m em relação às camadas 1 e 2.

Figura 150: Furo ver cal (seta verde) que foi executado no dia do rompimento da B I



Fonte: GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM I Nº CONTRATADA Pimenta de Ávila CONSULTORIA LTDA RD-654-RL-41070-00, revisão 0, 18/12/2015, Pág. 94

Segundo informações colhidas pela Auditoria Fiscal dos profissionais geotécnicos entrevistados, a execução desta operação, tendo em vista a profundidade do furo, poderia se cons tuir em um potencial acionamento do ga lho da liquefação, devido à existência de camadas de rejeito da B I que apresentavam estabilidade crí ca com baixos fatores de segurança para a condição não drenada.

2.5. Movimento rápido da fundação

À época da elaboração de seu documento que relaciona os possíveis ga lhos, a empresa Pimenta de Ávila relata que “A princípio a maior parte dos recalques já ocorreu, sendo pouco provável a ocorrência de movimento rápido o suficiente da fundação para acionar o ga lho da liquefação”. A análise desta Auditoria Fiscal também não encontra evidências que sugiram tal po de ocorrência.

2.6. Elevação rápida da super cie freá ca

Pimenta de Ávila relata, por fim, que “Este ga lho pode ocorrer em função de uma precipitação de grande magnitude, acarretando na saturação dos rejeitos, diminuição do comprimento de praia e subida da super cie freá ca / poropressões”. A Auditoria do Trabalho, baseada nas informações colhidas em documentos técnicos, também descarta a hipótese de que houve uma elevação rápida da super cie freá ca, que tenha, por si só, atuado como um ga lho. Entretanto, ainda neste tema, tecemos as seguintes considerações.

2.6.1. Pluviometria da região da Barragem I

É sabido que na semana que antecedeu o rompimento pouco choveu na região da barragem (menos de 10mm). Contudo, cabe ponderar que a variação da poropressão não se dá de maneira imediata. Diante disso, fizemos um levantamento da pluviometria da região a fim de verificar a possível influência das chuvas na região.

Para o levantamento pluviométrico considerado neste relatório foram utilizados os dados históricos de duas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET: a estação de Ibité (MG) que está localizada nas seguintes coordenadas geográficas - Latitude 20° 0' 34.376" S, Longitude 44° 2' 58,485" W, a 14,2 Km (distância geodésica) de onde estava a B I, n; e a estação de Belo Horizonte, a 28,9 Km da B I, nas seguintes coordenadas geográficas - Latitude 19° 55' 46.276" S, Longitude 43° 55' 46,489" W.

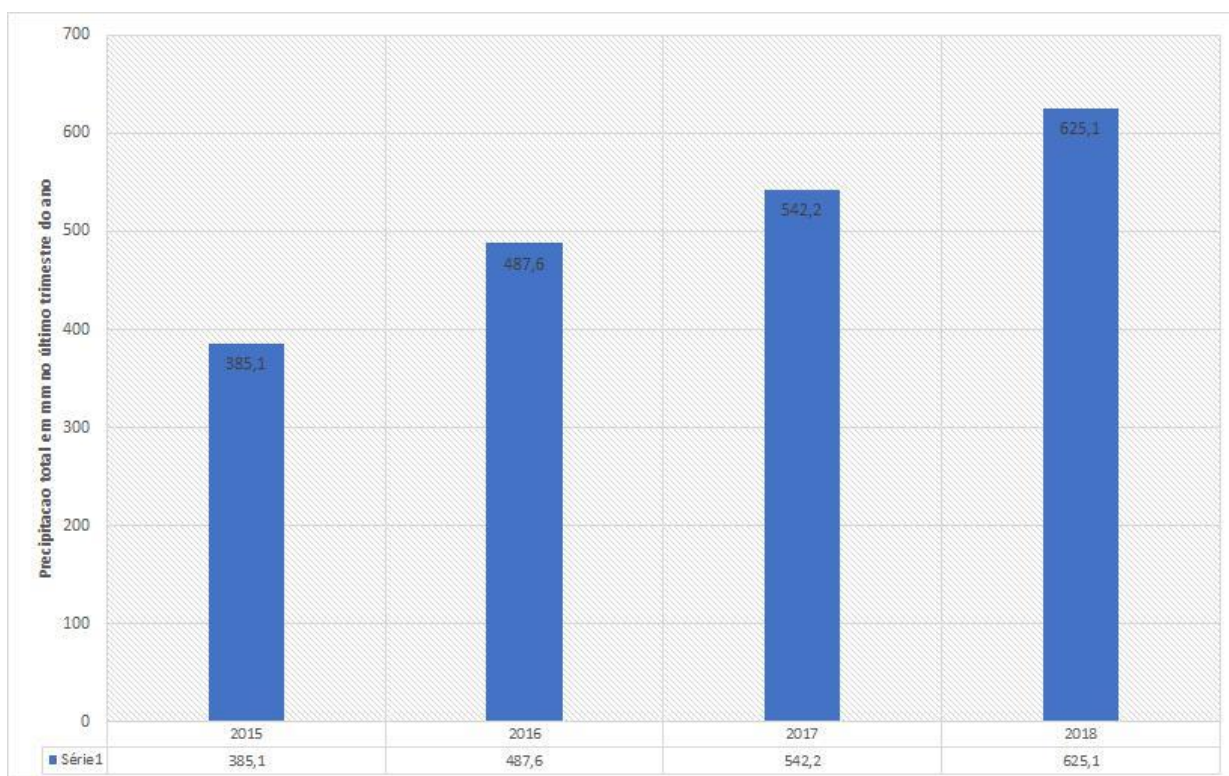
Considerando que a estação de Ibité está situada a uma distância menor da Mina do Córrego do Feijão, os dados da estação de Belo Horizonte foram utilizados de maneira secundária, ou seja, apenas para os meses em que não houve registro nas planilhas do INMET para a estação de Ibité. Foram eles: Nov/15, Dez/16 e Dez/17.

Período considerado para a análise

Conforme o Relatório de Inspeção de Segurança Regular (RISR), documento VL55-RT05, REV. 2, p. 14, algumas semanas após a inspeção de campo ocorrida em 11/05/2016, a Vale tomou a decisão de não mais lançar rejeitos na B I. Portanto, naquele momento, a barragem atingia sua carga máxima histórica de rejeitos. Neste contexto, nosso levantamento utilizou o ano imediatamente anterior (2015) como ponto de partida para as avaliações.

Considerando que o rompimento se deu no mês de janeiro de 2019, o objetivo de nosso levantamento foi observar se, de 2015 a 2018, houve alguma alteração relevante das precipitações pluviométricas nos meses de outubro, novembro e dezembro, o que pode ser verificado no gráfico da figura 151.

Figura 151: Pluviometria acumulada para os meses de outubro, novembro e dezembro, de 2015 a 2018, na região da B I



Fonte: <https://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>

Observa-se que coincidentemente após a barragem parar de receber rejeitos em junho de 2016, portanto, quando ela atingiu sua maior carga de rejeitos, as chuvas de fim de ano começaram a aumentar progressivamente a cada último trimestre dos anos posteriores.

Tomando como referência o último trimestre de 2015, nos três anos seguintes as precipitações aumentaram consistentemente. De modo que, comparando 2015 a 2018, houve acréscimo de mais de 62% nas precipitações pluviométricas. Entretanto, cabe ponderar, que este aumento deveria ser plenamente suportável por uma barragem com o seu sistema drenagem em perfeito funcionamento.

2.7. Observações da Auditoria Fiscal do Trabalho

A Auditoria Fiscal do Trabalho firma o entendimento que a Barragem B I rompeu pelo fenômeno de liquefação, tendo como prováveis causas: instabilização local por *piping* derivado do fraturamento hidráulico ocorrido em junho de 2018; e a realização de perfurações verticais a úmido no barramento, ambos associados a um elevado nível freático, por sua vez possibilitado pela drenagem inadequada.

Em relação ao elevado nível freático, constatamos que ocorreram volumosas chuvas no último trimestre de 2018 e este fato, associado à inexistência de um sistema de drenagem interna até a elevação do terceiro alteamento (El. 898), pode ter causado um aumento da poropressão no barramento, diminuindo a tensão efetiva vertical do rejeito com a consequente perda da resistência ao cisalhamento e, nesta hipótese, a B I poderia romper por liquefação.

Por outro lado, o fraturamento hidráulico ocorrido durante a execução do 15º DHP, pode ter ocasionado um vazio interno no dique inicial que contribuiria para a formação de um *piping*, situação que pode ter levado a uma instabilização local, possível causa da liquefação. Esta interpretação foi corroborada por geotécnicos entrevistados pela equipe da Auditoria Fiscal.

Quanto às perfurações (incluindo sondagens) a úmido no barramento, estas não foram consideradas nos estudos de liquefação, elaborados pelas empresas consultoras contratadas pela Vale. Porém, segundo o documento “*Guidelines for Drilling and Sampling in Embankment Dam*” (Diretrizes para Perfuração e Amostragem em Barragens de Aterro) do Departamento do Interior dos Estados Unidos (op. cit.), o processo de perfuração a úmido provoca danos por fraturamento hidráulico durante a realização dos furos que podem abrir caminho para infiltração e por consequência criar condições para conduzir a um *piping* e, enfim, à falência da barragem.

No dia do rompimento da B I foi concluído um furo vertical de 68 m de profundidade a partir da berma do 8º alteamento da B I com uso de uma perfuratriz que utilizava água pressurizada. Este furo atravessou as camadas 1 e 2 que se mostraram mais críticas à liquefação conforme a análise de estabilidade probabilística. Esta situação pode ter levado a uma ruptura das citadas camadas, que por sua vez pode ter atuado como um gatilho, ocasionando a liquefação da barragem.

Capítulo 3: O Documento Cálculo do Risco Monetizado

3.1. Cálculo do Risco Monetizado para Barragens e Diques – Barragem I

Esse documento sintetiza diversos outros documentos já discutidos até aqui, além de apontar novas informações bastante relevantes que nos ajuda dimensionar a compreensão que a Vale possuía do risco de rompimento da Barragem I.

No início do ano de 2017, a Vale contratou o consórcio formado pelas empresas Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda e a TÜV SÜD Bureau de Projetos Ltda para elaboração de estudos inseridos no projeto de Gestão de Riscos Geotécnicos - GRG com a finalidade de se obter, o que a Vale denominou, “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO em caso de ruptura da barragem B I da mina Córrego do Feijão”.

Pelo contrato, tal estudo seria composto de 5 etapas: consolidação dos dados e identificação dos riscos; cálculo das probabilidades; estudo de dam break; valoração das consequências; e cálculo dos riscos.

Em outubro de 2017 foi entregue a primeira etapa do estudo composto por um documento de 199 páginas denominado “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO PARA BARRAGENS E DIQUES – BARRAGEM I – RELATÓRIO TÉCNICO – CONSOLIDAÇÃO DE DADOS E PREMISSAS” (documento RC-SO-037/17), revisado em maio de 2018.

A segunda etapa do estudo, também foi concluída em outubro de 2017, refere-se a documento de 153 páginas e que teve três revisões, a primeira realizada em dezembro de 2017, a segunda em maio de 2018 e a última em julho de 2018. Referido documento foi intitulado “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO PARA BARRAGENS E DIQUES – BARRAGEM I – RELATÓRIO TÉCNICO – ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DA BARRAGEM” (documento RC-SO-050/17).

O terceiro documento entregue à Vale, referente à terceira etapa do estudo, foi denominado “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO PARA BARRAGENS E DIQUES – BARRAGEM I – RELATÓRIO TÉCNICO – ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA – DAM BREAK” (documento POTVAL02G2-1-TC-RTE-0032), sendo composto de 136 páginas, entregue em dezembro de 2017, revisado em maio de 2018.

O documento referente à quarta etapa do estudo, denominado “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO PARA BARRAGENS E DIQUES – BARRAGEM I – RELATÓRIO TÉCNICO – VALORAÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS” (documento POTVAL02G2-1-TC-RTE-0045), foi concluído em novembro de 2017 e possui 147 páginas. Este documento foi revisado em maio de 2018.

A quinta e última etapa do estudo foi concluída em março de 2018, todavia foram realizadas duas revisões no documento, uma em maio de 2018 e outra em julho de 2018. O documento gerado nessa última etapa é composto de 24 páginas e foi denominado “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO PARA BARRAGENS E DIQUES – BARRAGEM I – RELATÓRIO TÉCNICO – ANÁLISE DE RISCO” (documento POTVAL02G2-1-TC-RTE-0045).

Além dos cinco documentos acima descritos que foram elaborados nas respectivas etapas do já citado contrato, outros dois documentos, em forma de nota técnica, foram emitidos pelo consórcio Potamos - TÜV SÜD Bureau: 1- “DISCUSSÃO SOBRE OS ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO” (POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067), emitido em 12/01/2018; 2- “ALTERNATIVAS AVALIADAS PARA INCREMENTO DA SEGURANÇA QUANTO À LIQUEFAÇÃO” (POTVAL02G2-1-TC-RTE-0068), com data de 19/01/2018.

Esta segunda nota técnica foi abordada no item 2.1.2. do capítulo 2 da Parte II deste nosso relatório.

Após análise de toda documentação fruto do estudo do CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO, passamos a destacar alguns tópicos.

3.1.1. Etapa 1 - Consolidação de Dados e Premissas

Conforme consta da página 3 do documento RC-SO-037/17, o objetivo da primeira etapa do estudo foi "apresentar a consolidação dos dados básicos, informações e estudos anteriores relativos à B I da Mina Córrego do Feijão e estruturas geotécnicas no entorno" e "os principais aspectos observados nas visitas de campo para diagnóstico das condições de segurança das estruturas", além de dar "uma breve caracterização da bacia de contribuição e área a jusante da barragem" e descrever "algumas premissas e critérios considerados nas diversas etapas do processo de cálculo do risco monetizado da estrutura".

No item 4.3 do documento é feito um histórico da B I desde sua construção, sendo que na página 17 é dito que “o maciço do dique inicial foi executado em **minério fino (material drenante)**, revestido por uma camada de laterita de 4,0 m de espessura no talude de montante e de 1,0 m no talude de jusante” e que “**não há registro da existência de um sistema de drenagem interna**” (grifos nossos).

Sobre a execução do 4º alteamento (pág. 19) é dito que “no desenvolvimento do projeto do 4º alteamento foi constatado que **o fator de segurança da estrutura não atendia ao recomendado pela norma técnica** e era inferior a 1,3. Detectaram-se ainda **surgências** na região do maciço inicial próximo a El. 875,0m. Desta maneira, o eixo da estrutura foi deslocado, com largura variável (formação de uma berma extensa), para dentro do reservatório em relação ao eixo anterior” (grifos nossos).

No que se refere à geologia local observa-se que pouco se conhecia da fundação do dique inicial da B I. No item 4.4.2 do relatório (pág. 23) é afirmado que “não foram localizadas descrições mais detalhadas da geologia local do talvegue de implantação da estrutura”. Mais adiante, no item 4.8 – Fundação, é dito que “há poucos dados referentes à fundação da barragem e do reservatório. Os dados disponíveis são relativos a sondagens posteriores realizadas para se tentar conhecer melhor a fundação e os alteamentos”.

Chama a atenção o relatado no seu item 4.5.10 – Investigações da Geoconsultoria (2005 a 2006). Nas páginas 41 e 42 do relatório, são reproduzidos alguns comentários do projeto do 9º e 10º alteamentos (Geoconsultoria) acerca dos resultados das investigações, conforme abaixo:

- Verifica-se que **o processo de segregação sedimentar não é característico nesta praia de rejeitos**, praticamente **inexistindo no lado esquerdo** e sendo mais evidente no lado direito;
- Verificou-se que os diques externos foram normalmente executados com rejeitos compactados. Constatou-se exceção a camada superficial que recobre os 3 primeiros alteamentos - separados do 4º alteamento por uma berma relativamente larga - que foi executada com solo argiloso;
- Internamente aos diques, os rejeitos foram lançados hidráulicamente. O processo foi heterogêneo, ora lançando-se rejeitos em praias, ora lançando-se os rejeitos submersos. Esta heterogeneidade de lançamento resultou em compacidades muito heterogêneas. A compactação dos rejeitos lançados hidráulicamente varia desde materiais fofos ($SPT \leq 4$) a materiais compactos ($SPT \geq 19$);
- Com a execução dos ensaios CPTu's nesta seção, pôde-se constatar que a condição de artesianismo ocorre apenas em profundidade superior a 25 m, com causa desconhecida, mas interpretada como uma camada de material mais grosseiro, capeada por rejeitos finos, resultando em uma condição de confinamento no fundo do vale, causando o artesianismo;
- Possível ocorrência de camadas onde possam ocorrer rupturas do poço não drenadas, cujo estágio final seria a liquefação. Pela análise dos ensaios CPTu, só foi possível identificar duas camadas com alguma possibilidade de ocorrência e comportamento com tendência a desenvolvimento de pressões neutras positivas expressivas: uma camada entre 2 a 4 m de profundidade abaixo da berma da cota 898 m e outra camada a cerca de 3 m abaixo da atual praia de rejeitos (8º alteamento); $S_u(\text{pico}) = 0,70\sigma'_v$ e $S_u(\text{residual}) = 0,14\sigma'_v$.

Pelos comentários trazidos pelo relatório, podemos identificar que **a disposição de rejeito na B I foi realizada de maneira errada, pois o que se espera, quando do lançamento do rejeito em uma barragem, é que o material com maior granulometria seja depositado mais próximo ao barramento e o material com menor granulometria fique mais afastado.**

Todavia, não foi o que aconteceu na B I, pelo contrário, por meio dos ensaios dos rejeitos, realizados em campo e em laboratório, constatou-se que esses materiais, finos e grossos, estavam misturados ou sobrepostos, formando muitas vezes camadas de materiais grossos entre camadas de materiais com menor granulometria. Isso provocou a formação de condições de confinamento de água entre as camadas, formando, assim, vários lençóis freáticos sobrepostos (empoleiramento de lençóis freáticos).

Ressalta-se, ainda, o comentário sobre **a existência de camadas com possibilidade de formação de poropressões expressivas. Pressões neutras elevadas em material contrário podem reduzir as tensões efetivas, caracterizando a queda na resistência ao cisalhamento, gerando, ao final, a liquefação do material.**

Sobre o sistema de drenagem superficial da B I, na página 80 do documento, é dito que “as dimensões e condições de funcionamento do sistema de drenagem superficial e estruturas associadas foram verificadas em inspeção de campo, constatando que o sistema está em conformidade com os projetos desenvolvidos, **mas estão em condições operacionais pouco satisfatórias**”.

Sobre o sistema de auscultação da barragem é demonstrado que a mesma possuía vasto número de equipamentos instalados, conforme pode-se verificar através do item 4.13 do relatório. Todavia, chama atenção o seguinte trecho: **“Sabe-se que foram instalados inclinômetros na estrutura, mas não há informações a respeito do cadastro destes instrumentos, tão pouco dados de leituras ou status se estão a vos ou se já foram desativados”** (grifo nosso).

Importante aspecto do barramento é discutido no item 4.14 do relatório, que fala sobre a estabilidade da barragem (pág. 85 a 103). Na página 89, quando analisados os cálculos dos fatores de segurança - FS obtidos em 1995 pela empresa Tecnosolo, o consultor descreve que: **“Alguns fatores de segurança encontrados para alguns cenários são inferiores às recomendações normativas**. Devido esse fato, nesta etapa de projeto foi tomada a decisão de deslocamento do eixo da estrutura para dentro da praia de rejeitos com a formação de uma berma” (grifo nosso). Nesse estudo de 1995 foram encontrados fatores de segurança para situação drenada na ordem de 1,1, sendo que o limite recomendado era 1,5.

Em 1998, novos cálculos de estabilidade foram realizados pela Tecnosolo quando da realização do 4º e 5º alteamentos da barragem, e novamente os fatores de segurança encontrados estavam abaixo do valor recomendado.

Novos estudos sobre a estabilidade da B I foram realizados pela empresa Tecnosolo nos anos de 2000, 2001 e 2003 para a situação drenada, e em todos os três foram obtidos resultados inferiores ao preconizado, ou seja, valores inferiores a 1,5.

No ano de 2003, as empresas Dam Engenharia e DF Consultoria também realizaram estudo de estabilidade do barramento e novamente verificaram-se resultados calculados do FS menores que aqueles aceitáveis (1,5 para situação normal de operação e 1,3 para situações com a fresta em níveis altos), tendo sido encontrados valores de $FS < 1,0$.

Nos anos de 2006, 2007 e 2008, a empresa Geoconsultoria realizou três estudos de estabilidade da B I, sendo que no estudo de 2006, o FS encontrado para a projeção do último alteamento (El. 942,0m) foi na faixa de 1,1 a 2,3, ou seja, havia seções com $FS < 1,5$.

A empresa de consultoria Pimenta de Ávila realizou em dezembro de 2015 novo estudo de probabilidade de ruptura do barramento, sendo este o primeiro estudo que avaliou e calculou a falha do barramento por liquefação (situação não drenada). Nesse estudo os valores calculados foram de 1,2 para resistência de pico baseado nos ensaios SPT e 1,1 para resistências de pico baseados nos ensaios CPTu, ambos menores que 1,3, valor definido como mínimo aceitável.

A Geoconsultoria realizou em julho de 2016 nova análise de estabilidade, fazendo, também, estudo de estabilidade em situação não drenada (liquefação), sendo considerada a seção 3 da barragem como a mais crítica. Foram calculados FS para diversas situações, utilizando-se quatro envoltórias de resistência de pico (0,23, 0,25, 0,30 e 0,40). Os parâmetros geotécnicos utilizados estão na tabela 16.

Tabela 16: Parâmetros geotécnicos considerados no estudo de liquefação da B I
 * Obs.: O parâmetro S_u/σ'_v variou de 0,23 a 0,40.

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	S_u/σ'_v
Rejeitos Compactados	30	0	37	-
Rejeitos fofos insaturados	26	0	34	-
Rejeitos fofos saturados 1 *	26	-	-	0,25
Rejeitos fofos saturados 2 *	26	-	-	0,50
Solo compactado	19,5	10	30	-
Solo de fundação	20	20	30	-

Fonte: Estudo de liquefação da B I, Geoconsultoria, julho de 2016

O FS calculado só foi maior que o mínimo definido como aceitável (1,3) para a envoltória de resistência igual a 0,4. Em todos os outros casos, envoltória de resistência igual a 0,23, 0,25 e 0,30 o resultado obtido não foi satisfatório, ou seja, o fator de segurança calculado era menor que 1,3. Ressalta-se que somente as envoltórias de resistência de 0,23 e 0,25 atenderiam a metodologia de cálculo proposta por OLSON (2001), utilizada no estudo da Geoconsultoria, que adota os valores das envoltórias de resistência na faixa de 0,22 a 0,29.

Quatro meses depois, em novembro de 2016, a própria Geoconsultoria elaborou o relatório de inspeção regular da B I. Todavia, nesse novo estudo, a seção estudada e definida como crítica foi a 2, seção com altura menor que a seção 3 (utilizada no estudo anterior) e consequentemente com solicitações de cargas menores. Nesse novo estudo a consultoria optou por uma envoltória de resistência de 0,36, ou seja, com valor maior que aqueles recomendados por OLSON (2001). Os parâmetros geotécnicos utilizados nesse estudo estão citados na tabela 17.

Tabela 17: Parâmetros geotécnicos considerados no Relatório de Inspeção de Segurança Regular da B I

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	S_u/σ'_v
Rejeitos Compactados	30	0	37	-
Rejeitos fofos insaturados	26	0	34	-
Rejeitos fofos saturados	26	-	-	0,36
Solo compactado	19,5	10	30	-
Solo de fundação	20	20	30	-

Fonte: Relatórios de inspeção regular de segurança da B I, Geoconsultoria, novembro de 2016

Nesse estudo os valores de FS encontrados foram 1,9 e 1,3 para situação drenada e situação não drenada, respectivamente. Como pode-se observar, o FS de segurança encontrado para situação não drenada foi exatamente igual ao mínimo recomendado e com a utilização de razão de resistência muito alta.

Na página 103 do documento Potamos – TÜV SÜD (RC-SP-037/17) é trazida a conclusão do relatório de inspeção regular elaborado pela Geoconsultoria informando “que utilizando o parâmetro médio de resistência do material o fator de segurança da B I é satisfatório, com condição adequada para controlar galhos que provoquem carregamentos não drenados. Entretanto, **como o parâmetro geotécnico é “médio”, a investigação deve ser complementada**”.

Ressalta-se que, **apesar de dizer em seu relatório que a investigação deve ser complementada, a Geoconsultoria assinou a Declaração de Condição de Estabilidade – DCE da B I em 2016 sem observar essa recomendação.**

Em cumprimento ao escopo do trabalho desenvolvido pelo consórcio Potamos – TÜV SÜD, foi realizada inspeção em campo para verificação das condições do barramento, e no item 7 do relatório apresentados os pontos de atenção detectados na vistoria.

Na página 112 do documento, é dito que “trincas persistentes” foram “encontradas nas canaletas da região do maciço próximo a ombreira esquerda. Nesta região as trincas são comuns nas bermas de El. 929,5, 922,5, 916,5 e 910 m”. Que **na berma da El. 899 m é nítida a posição elevada do nível de água**. “Isso porque são comuns nesta região a ocorrência de surgências e saída de água pelas tubulações da drenagem interna. Também foram encontrados canais trincados e solapados, além da presença de colóide na saída da drenagem interna. Que na área do talude de jusante delimitada entre o pé da barragem e a berma na El. 899 m”, “foram encontrados vários drenos internos operando. Como pontos de atenção destacam-se surgências encontradas nas trincas dos dispositivos de drenagem”.

No item 8 – IDENTIFICAÇÃO DAS AMEAÇAS, o documento faz uma análise do risco de rompimento da B I e define quatro principais modos de falha do barramento: galgamento, instabilização, liquefação e erosão interna. A primeira análise realizada foi qualitativa e se baseia nas “evidências identificadas durante a etapa de consolidação de dados e visita técnica”. Abaixo seguem os principais problemas que foram identificados, subdivididos de acordo com os modos de falha, extraídos do documento (grifos nossos):

Erosão Interna:

- Histórico de **surgências** (1983, 1995);
- **Não há registros dos dados de granulometria dos materiais que compõem os drenos** dos alteamentos que possuem sistemas de drenagem interna. **Não é possível verificar o atendimento a critérios de retenção;**
- Foi utilizado minério de ferro (*sinter feed*) nos drenos dos alteamentos da El. 892m até 922,5m. Esses **drenos são suscetíveis a colmatção** devido à formação de óxidos de ferro. Foi observada, durante a inspeção de campo, a **presença de óxido de ferro em algumas saídas de drenagem;**
- **Não há informações sobre a integridade da galeria extravasora.** Pode haver problemas de trincas, vazamentos, deterioração do concreto, etc., não detectados;

- Há histórico de **pressões elevadas em camadas da fundação** (terreno natural);

Instabilização:

- **Nível freático elevado no maciço;**
- **Pressões elevadas na fundação** (terreno natural);
- Camadas de **baixa resistência na fundação** de alguns diques de alteamento;

Liquefação:

- **Geometria desfavorável** devido recuo do eixo na El. 899m;
- **Nível d'água elevado** (histórico de elevação em 2005);
- **Ausência de estudos sísmicos** detalhados.

Avaliações quanto aos modos de falha do barramento são abordados na segunda etapa do estudo elaborado pelo consórcio Potamos – TÜV SÜD e foram consideradas várias premissas no item 9 do relatório. Dentre elas destacamos: “inexistência de dreno de fundo no dique de par da e nos diques de alteamento até a El. 889,0m”; “considera-se que a aproximação do reservatório para próximo da crista como a situação crítica para estabelecimento de uma superfície freática mais elevada” (pág. 124 e 125); “alteamento seria realizado exclusivamente com rejeito compactado, porém, durante a execução, esse material foi modificado para solo compactado, ou ainda rejeito em alguns setores do alteamento e solo em outro. Isso tornou difícil a mensuração desses parâmetros” (pág. 125); “a necessidade de considerar tal modo de falha (liquefação) é reforçada pelo fato da superfície freática ser alta, ausência de dreno de fundo nos primeiros alteamentos para facilitar a drenagem dos rejeitos, alteamento para montante, afastamento do quarto alteamento para dentro do reservatório e presença de rejeitos fofos e saturados” (pág. 133); “os resultados de ensaio de campo disponibilizados e os ensaios CPTu realizados recentemente são considerados pequenos, haja vista que houve 2 alteamentos posteriores, o que mudou o estado de tensão, nível freático, etc. Nesse sentido, a análise de liquefação será realizada com os dados disponíveis, porém, a luz das limitações existentes” (pág. 133); “pelo menos entre 1976 e 2005 a estrutura não operou com uma diretriz efetiva quanto à formação de praia e disposição de rejeitos. No geral, neste período o lago frequentemente estava em contato com talude do alteamento e os espigotes eram muito espaçados, o que não favorecia a formação de uma praia uniforme e heterogênea” (pág. 134).

Nas considerações finais – item 10 do documento, é dito que a B I apresenta **nível relativamente elevado** da superfície freática. Esse fato exige uma maior atenção no seu monitoramento e também acurácia dos instrumentos quanto a respostas de possíveis variações de pressão e nível de água” e que as “análises dos módulos de falha liquefação, serão realizadas através da metodologia de Olson (2003) com avaliação dos dados dos ensaios de CPTu disponíveis e que melhor representem as condições de campo”.

3.1.2. Etapa 2 – Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem

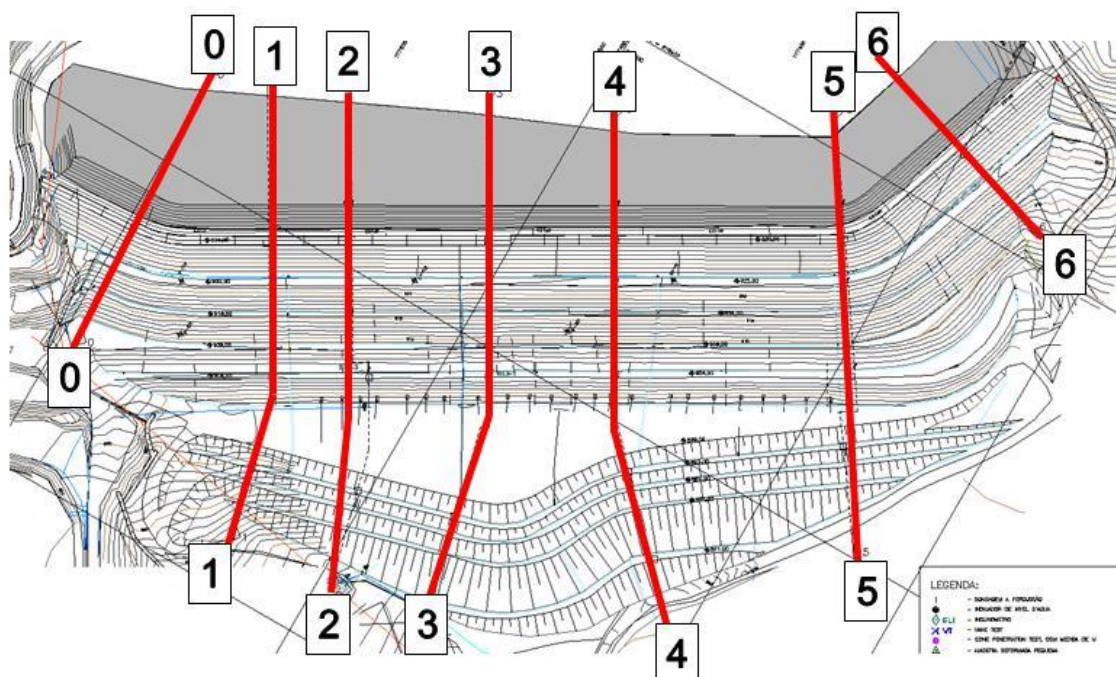
Conforme consta do documento (RC-SP-050/17) gerado na segunda etapa do estudo de “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO em caso de ruptura da barragem B I da mina Córrego do Feijão”, os principais objetivos (pág. 3) para sua elaboração foram: "indicar os principais componentes, causas e modos de falha da Barragem I; avaliar os modos de falha de erosão interna, instabilização, galgamento e liquefação, de modo a estabelecer os modos de falha mais relevantes para a barragem; aplicar as metodologias de abordagem quantitativa para o cálculo da probabilidade de ruptura da barragem para os modos de falha aplicáveis à mesma”.

O primeiro modo de falha analisado foi o de ruptura por galgamento, sendo que, baseado na análise dos documentos existentes, dados de monitoramento, resultados de auditorias e da inspeção de campo realizada e das premissas consideradas, a probabilidade de ruptura do barramento por galgamento da barragem foi considerada desprezível (pág. 43). O valor definido para a probabilidade de ruptura por galgamento da B I foi igual a 1×10^{-8} .

O segundo modo de falha analisado foi o de instabilização (item 6). Conforme consta do relatório, a realização das análises de estabilidade leva em consideração três aspectos principais: “a geometria (seção transversal) da barragem, os parâmetros geotécnicos considerados para os materiais e os níveis piezométricos atuantes nos cálculos” (pág. 43).

A barragem B I foi dividida em sete seções e três delas foram estudadas (seções 2, 3 e 4). Abaixo são trazidas as imagens com marcação das seções e os cortes transversais das seções estudadas (figura 152, figura 153, figura 154 e figura 155), re radas do relatório técnico elaborado pelo consórcio Potamos – TÜV SÜD (págs. 44 e 45).

Figura 152: Seções instrumentadas da barragem B I



Fonte: Análise da probabilidade de ruptura da barragem elaborada por Potamos – TÜV SÜD, 2017

Figura 153: Corte transversal da seção 2-2 da B I

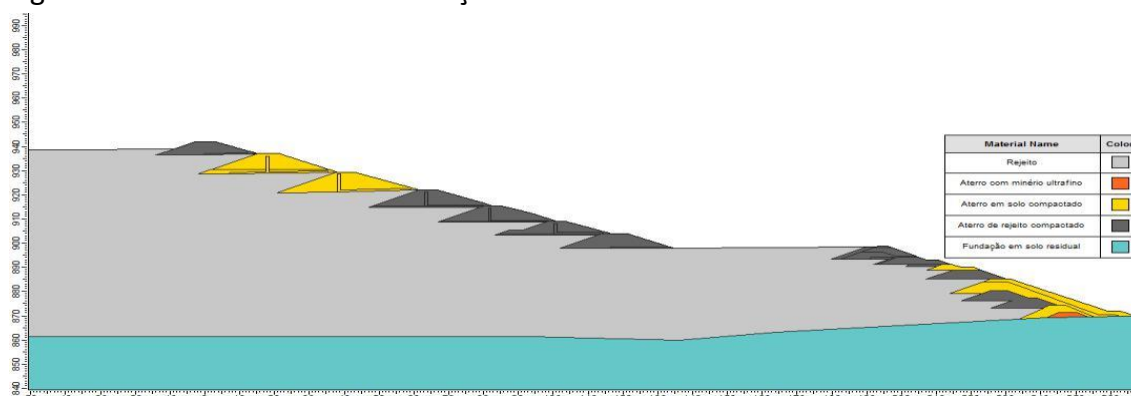


Figura 154: Corte transversal da seção 3-3 da B I

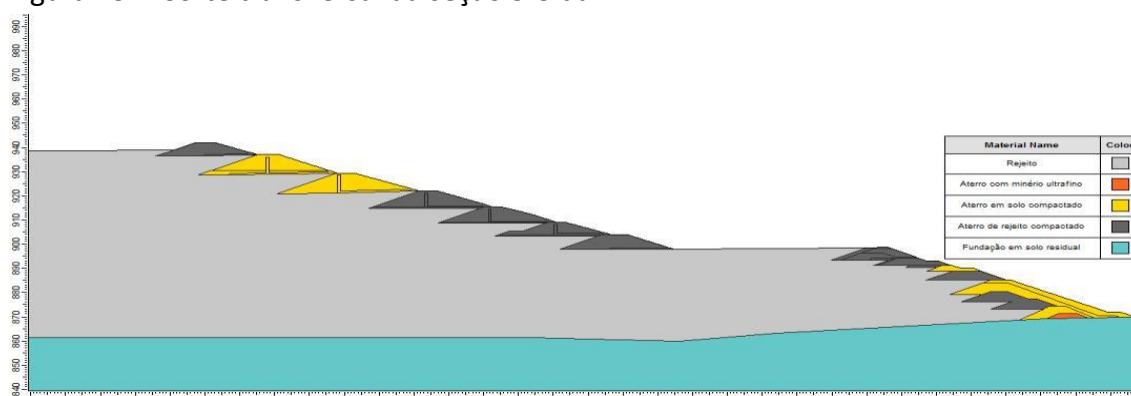
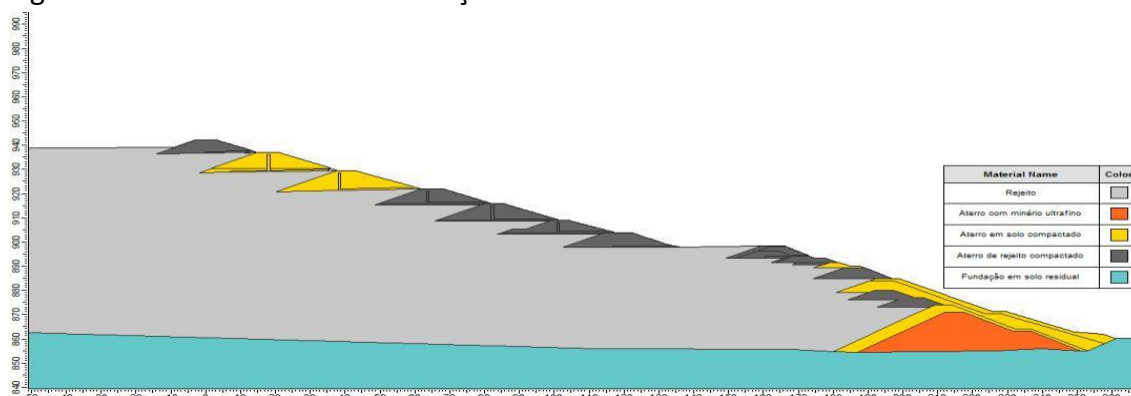


Figura 155: Corte transversal da seção 4-4

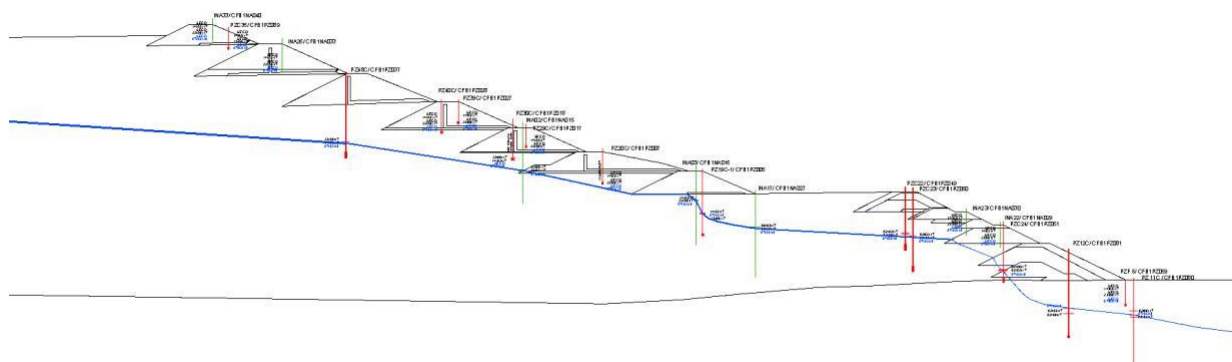


Fonte: Análise da probabilidade de ruptura da barragem elaborada por Potamos – TÜV SÜD, 2017

O nível freático atuante no maciço foi definido com base na piezometria do barramento, todavia, segundo o relatório em tela “a interpretação dos ensaios in-situ de piezocone (CPTu) permitiu a identificação de piezometrias variáveis com a profundidade de maneira não hidrostática que correspondem à condição de lençóis empoleirados em rejeito granular sobre lentes de rejeito mais fino. Trata-se de condição mais realista que a hipótese usual de Dupuit, a qual considera uma freática definida por monitoramento e equipotenciais verticais.

Deste modo, os perfis de poropressão determinados pelos CPTus foram inseridos nas seções transversais 2-2 e 3-3, possibilitando a observação de diferentes lençóis empoleirados e

Figura 156: Nível freático da seção 2-2 da B I



Conforme já mencionado, o lançamento de rejeito na B I durante sua vida foi realizado de forma errá ca, assim, foram formadas camadas de material fino, pouco permeável, envolto de material com maior granulometria, o que propiciou a formação de camadas de freá cas sobrepostas (lençóis empoleirados). Desta forma, os níveis piezométricos em cada camada de rejeito foram analisados no estudo da Potamos – TÜV SÜD e apresentados na figura 159, figura 160 e figura 161.

191

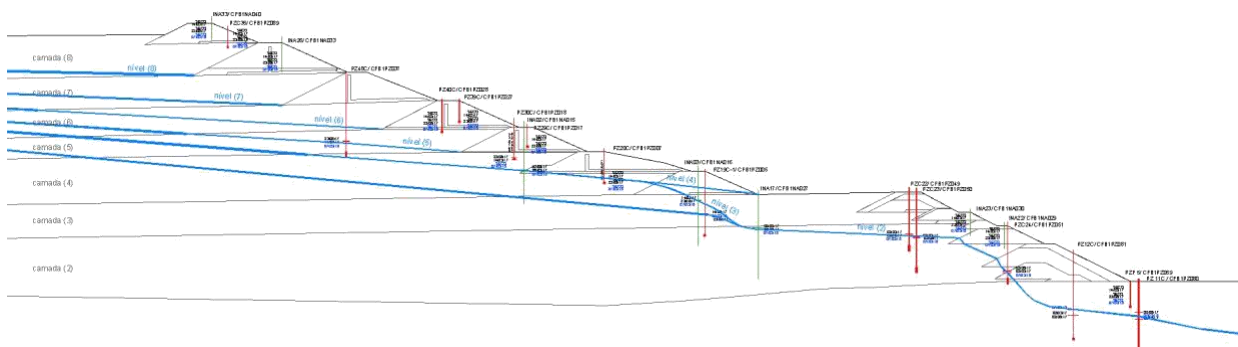


Figura 160: Níveis piezométricos atuantes em cada camada de rejeito, interpretados a par r da análise da instrumentação da B I (Seção 3-3)

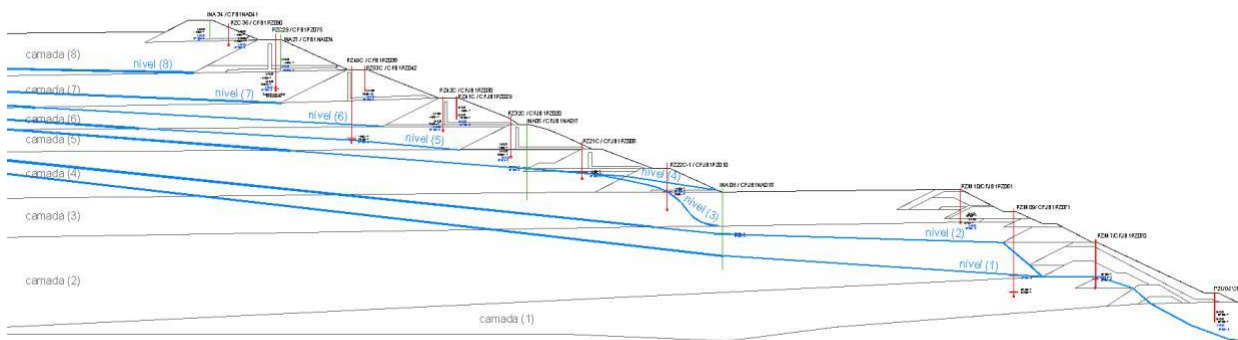
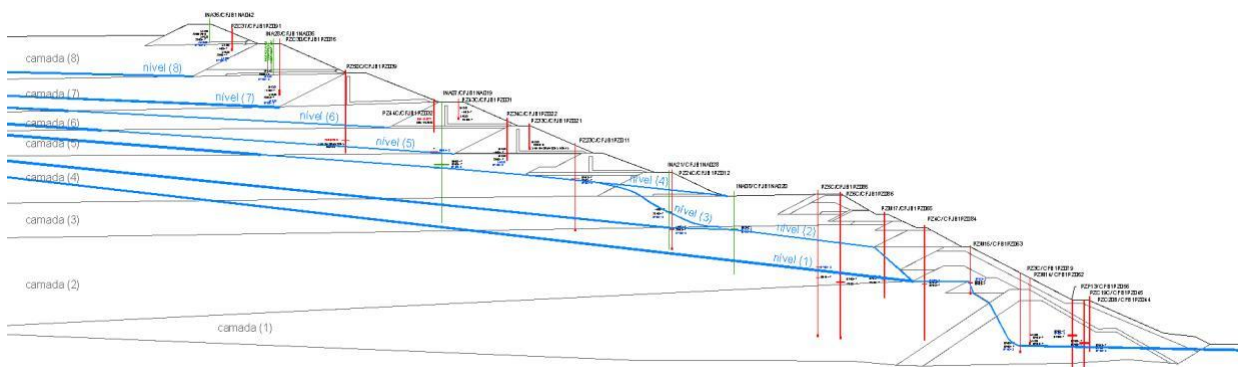


Figura 161: Níveis piezométricos atuantes em cada camada de rejeito, interpretados a par r da análise da instrumentação da B I (Seção 4-4)



Fonte: Análise da probabilidade de ruptura da barragem elaborada por Potamos – TÜV SÜD, 2017

No subitem 6.4.1 do documento é realizada análise determinís ca dos fatores de segurança para as seções acima mencionadas. Os fatores de segurança para **condição drenada** calculados para essas três seções foram respect vamente, **FS = 1,93** (seção 2-2), **FS = 1,76** (seção 3-3) e **FS = 1,60** (seção 4-4), ou seja, superiores ao mínimo exigido que é de 1,5.

Ressaltamos a observação trazida do estudo em análise, na página 58, que diz: “as super cies crí cas de ruptura têm comportamento global, se desenvolvendo essencialmente abaixo da berma de recuo da El. 899 m, interceptando a fundação ou, no caso da Seção 4-4 de maior altura, interceptando o dique de par da. Dessa forma, **é o terço inferior do talude de jusante o condicionante da estabilidade da Barragem I** sob condições drenadas”. (grifo nosso)

O valor da probabilidade de ruptura da barragem B I para o modo de falha por instabilidade foi considerado “muito reduzido” (pág. 62) pelo consórcio das empresas de consultoria, na ordem de 2×10^{-11} .

O terceiro modo de ruptura estudado foi por falha provocada por **erosão interna** – item 7 (pág. 65). Vários mecanismos de erosão interna foram considerados no estudo sendo que os arrolados como mais prováveis de acontecer foram: a erosão regressiva com entubamento (*piping*) pelo maciço, erosão interna pelo maciço por fluxo concentrado para dentro de condutos enterrados e erosão regressiva com entubamento (*piping*) pela fundação. O valor mais desfavorável encontrado foi para erosão regressiva com entubamento (*piping*) pelo maciço, com probabilidade de ocorrência de $1,9 \times 10^{-4}$.

Como se pode observar, a probabilidade de ocorrência de uma erosão interna por *piping* era muito maior que a probabilidade de ocorrência de galgamento ou instabilidade.

O quarto e último modo de falha estudado foi a ruptura por liquefação, sendo que as análises foram realizadas para a seção 4-4, considerada crítica (pág. 95). Foram levados em consideração no estudo três aspectos: “a **susceptibilidade** dos materiais a liquefação, **os parâmetros geotécnicos** considerados para os materiais e a **definição do galho** de cálculo” (págs. 95 e 96).

O Fator de Segurança – FS encontrado para análise determinística de liquefação foi de 1,09, ou seja, menor que o definido pela metodologia utilizada, de Olson, que define como 1,3 o FS mínimo aceitável, conforme figura 162. A probabilidade de ruptura por liquefação foi definida em 3×10^{-4} .

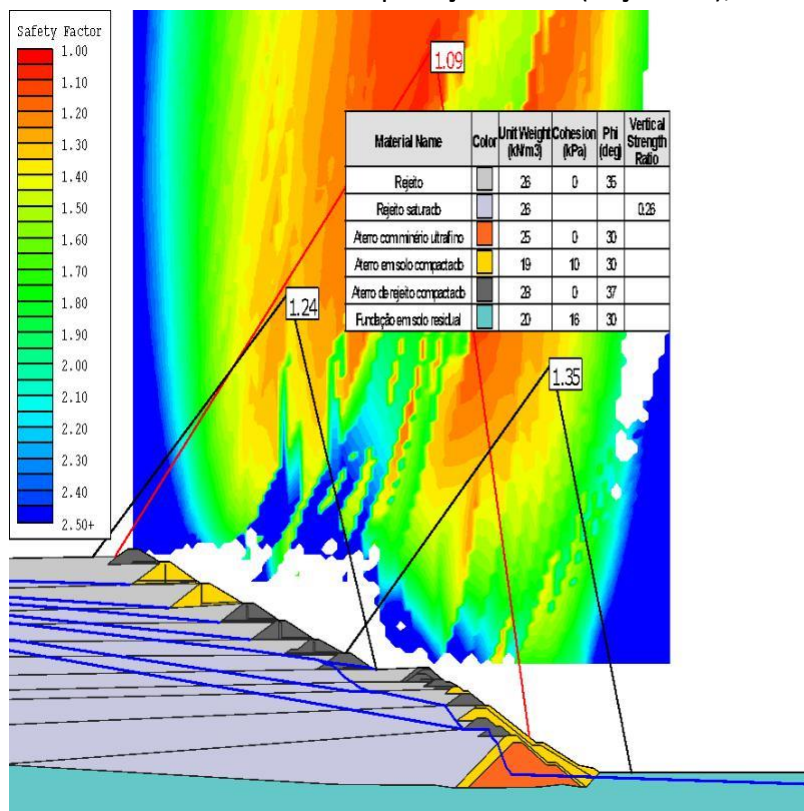
No item 9 do estudo é apresentado um resumo da probabilidade de ruptura do barramento para cada uma das falhas estudadas. Conforme pode-se observar na tabela 18, a ruptura com maior probabilidade de ocorrência é por liquefação.

Tabela 18: Probabilidade de ruptura por modo da falha da B I

Modo de falha		Probabilidade de ruptura
A	Galgamento	1×10^{-8}
B	Instabilização	1×10^{-8}
C	Erosão Interna	2×10^{-4}
D	Liquefação	3×10^{-4}

Fonte: Análise da probabilidade de ruptura da barragem elaborada por Potamos – TÜV SÜD, 2017

Figura 162: Análise determinística de liquefação da B I (Seção 4-4), FS = 1,09



Fonte: Análise da probabilidade de ruptura da barragem elaborada por Potamos – TÜV SÜD, 2017

3.1.3. Etapa 3 – Estudo de Ruptura Hipotética – Dam Break

A terceira etapa do trabalho de “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO em caso de ruptura da B I da mina Córrego do Feijão” já não foi mais realizado pelo consórcio Potamos – TÜV SÜD, mas apenas pela empresa Potamos. Nesta etapa elaborou-se o estudo hipotético de ruptura do barramento, o dam break, cujo resultado foi o relatório técnico POTVAL02G2-1-TC-RTE-0032. Nele são descritas as hipóteses de ruptura consideradas, bem como cenários de avaliação, metodologia aplicada e resultados obtidos para o prognóstico de inundações em áreas e trechos fluviais a jusante da B I.

O objetivo principal do trabalho foi a avaliação da inundação potencial associada à hipótese de ruptura da B I. O documento define que **entre as hipóteses de uma eventual ruptura, o modo de falha mais provável seria a liquefação do maciço**, tanto para o cenário em dia seco, quanto para o cenário em dia chuvoso.

Dentre as premissas assumidas no estudo, considerou-se que em função do modo de falha liquefação a geometria da brecha seria equivalente à geometria do próprio vale e se formaria instantaneamente. Essa simplificação considera que a liquefação apresentaria o potencial para subtrair toda e qualquer resistência capaz de inibir a movimentação da carga acumulada no maciço e regiões adjacentes do reservatório. Essa premissa não considera, portanto, a possibilidade de que a liquefação ocorra em apenas um setor do maciço e está a favor da segurança, na medida que estima a área atingida pelo pior cenário.

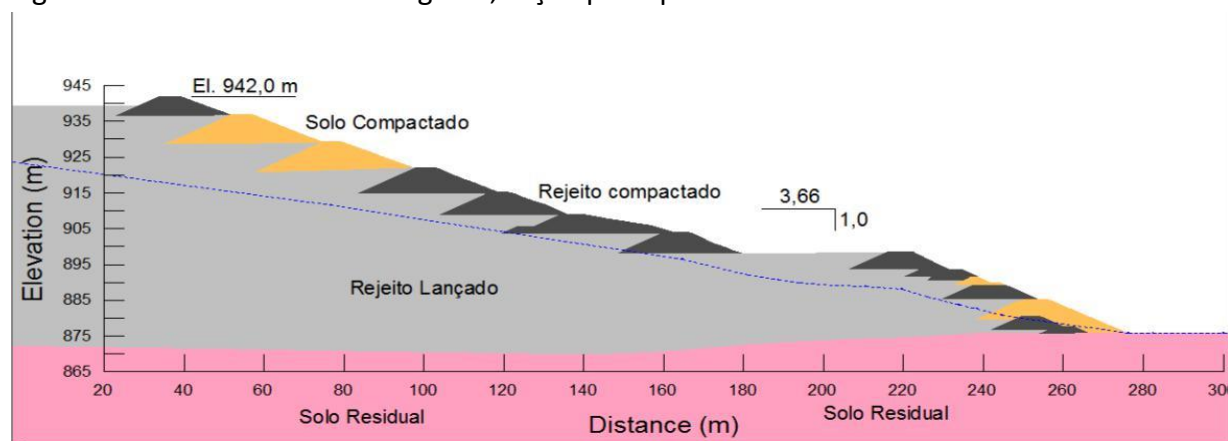
Conforme pode-se constatar do documento várias são as incertezas na representação hipotética do evento de ruptura da barragem, assim, não obstante os esforços aplicados para a 194

representação do fenômeno e da precisão dos modelos matemáticos co-computacionais, recomenda-se a interpretação parcimoniosa dos resultados numéricos e o julgamento de engenharia para a quantificação do dano potencial e para o estabelecimento de diretrizes e planejamento de proteção do vale a jusante.

No item 5 do estudo - Região de Abrangência dos Estudos, é descrito que “o ribeirão Ferro-Carvão, no município de Brumadinho, possui uma extensão de aproximadamente 9,5 km que seriam afetados pela onda de inundação proveniente do rompimento da B I, até desaguar no rio Paraopeba. O trecho em que o ribeirão Ferro-Carvão percorre é caracterizado por estruturas industriais e escritórios da Vale nos trechos iniciais, formações florestais, por domicílios e áreas antropizadas ao longo do percurso. Também no percurso do rio há a presença de um adensamento urbano, localizado à margem direita do ribeirão”.

É afirmado na página 28 do documento em tela que a geometria utilizada nos estudos desenvolvidos no âmbito do projeto GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos - corresponde à seção principal da barragem, ou seja, a seção transversal de máxima altura, conforme figura 163. A seção foi obtida a partir dos dados de projetos dos primeiros alteamentos e do *as built* dos maciços finais, além de bases topográficas disponibilizadas. A elevação e inclinação da praia de rejeitos foi interpretada a partir da topografia do ano de 2016.

Figura 163: Geometria da Barragem I, seção principal de altura máxima



Fonte: Estudo de ruptura hipotética – dam break, elaborado pela Potamos

Adotou-se no estudo a premissa de que especificamente para o modo de falha liquefação o volume da brecha considerado corresponde ao volume total do maciço. Como em barragens alteadas para montante o rejeito utilizado no maciço se confunde com o próprio rejeito armazenado, para a estimativa do volume do maciço assumiu-se uma projeção de um talude de montante com declividade única partindo da crista até o contato com aprimoria. O volume do maciço da B I obtido a partir desta premissa é igual a 3,72 Mm³.

O documento traz os impactos ou danos potenciais identificados ao longo do trecho simulado a serem objeto de mapeamento mais detalhado na etapa de valoração das consequências, quais sejam:

- Ruptura das barragens VI, IV e IV-A, no ribeirão Ferro-Carvão;
- Inundação generalizada de áreas rurais e urbanas com graves potenciais de danos estruturais e perda de vidas humanas;

- Problemas relacionados ao abastecimento de água nas comunidades ribeirinhas e irrigação nas regiões abastecidas;
- Possíveis interrupções nos acessos locais de terra, rodovias, linha de transmissão e no fornecimento de energia elétrica;
- Possibilidade de danos estruturais em pontes e travessias importantes;
- Impactos em APP – Área de Preservação Permanente, nas faixas marginais ao leito dos cursos de água;
- Assoreamento de cursos de água a jusante, com deposição de rejeitos no leito e planícies de inundação e possível alteração da calha principal de cursos de água;
- Alteração ou remoção da camada vegetal e do habitat, remoção do solo de cobertura, deposição de rejeitos e demais prejuízos à fauna e flora características da região.

Na conclusão o documento destaca a importância de se avaliarem os impactos desse estudo na revisão do Plano de Ações Emergenciais já existente, o que, pela análise dos documentos apresentados pela Vale, não foi realizado.

3.1.4. Etapa 4 – Valoração das Consequências

A quarta etapa do trabalho de “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO em caso de ruptura da B I da mina Córrego do Feijão” foi elaborada pela Potamos e apresenta o relatório denominado “Valoração das Consequências” (POTVAL02G2-1-TC-RTE-0045), que tem como objetivo relatar o cálculo do risco monetizado e apresentar seus resultados para a B I, à luz da metodologia e dos procedimentos para valoração monetária das consequências decorrentes de uma ruptura de barragem. As consequências associadas aos riscos geotécnicos foram avaliadas para seis esferas de interesse (figura 164), quais sejam: Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Econômica, Imagem da Empresa, Social e Órgãos Reguladores.

Figura 164: Esferas consideradas na valoração das consequências quando do rompimento de uma barragem



Fonte: Valoração das Consequências, Potamos, 2017

Chama atenção o descrito no capítulo 7 - VALORAÇÃO DA ESFERA SAÚDE E SEGURANÇA (grifos nossos):

Os impactos à saúde e segurança decorrentes de uma ruptura de barragem correspondem àqueles relacionados às **perdas de vidas humanas**, ao tratamento de enfermos, à utilização dos serviços de emergência, às perdas de horas de trabalhos para tratamento e convalescença, além de danos relativos à insegurança e ansiedade dos enfermos e de suas famílias.

A esmova das consequências no âmbito da saúde e segurança causadas na área de influência da mancha de inundação é sintetizada na valoração de indenizações decorrente da perda de vidas humanas, nos custos com serviços de emergência e com serviços de saúde.

Dentre os três impactos considerados, a **indenização por perda de vidas humanas é o tema com a maior divergência de opiniões, dado o elevado grau de incerteza e questões é cas associadas.**

No documento são utilizadas três metodologias para se quantificar o valor de uma vida humana, sendo que o valor adotado para cálculo do risco no caso de ruptura foi de US\$ 2.600.000,00. Convertendo para Real, o valor utilizado no estudo para **indenização de uma vida foi de R\$ 8.814.000,00** (valores de agosto de 2015).

Na tabela 19, reproduzida do documento “Valoração das Consequências”, é possível perceber que, teoricamente, se houvesse um aviso prévio (alerta) sobre o rompimento da barragem de pelo menos 4 horas, o número de vidas perdidas seria reduzido drasticamente.

Tabela 19: Custo Associado à Perda de Vidas Humanas, para os Cenários C1-C2 e D1-D2, para o rompimento da - B I. Obs: O Cenário C1 representa a população noturna, sem alerta antecedente; o Cenário C2 a população noturna, com alerta antecedente; o cenário D1, a população noturna, sem alerta; e o cenário D2, a população noturna, com alerta.

Cenários	Edificações Atingidas	População Atingida *	Perda Potencial de Vidas *	Alerta	Custo (perda de vidas) (R\$)
C1	279	524	161,57	(Sem Alerta Prévio)	1.424.051.538,00
C2	279	524	4,15	(-4,0 horas)	36.542.844,00
D1	789	1.420	214,91	(Sem Alerta Prévio)	1.894.216.740,00
D2	789	1.420	5,08	(-4,0 horas)	44.792.748,00

Fonte: Valoração das Consequências, Potamos, 2017

Finalmente o documento traz a tabela 20 compilando todos os valores encontrados para as seis esferas estudadas em caso de rompimento da B I.

Tabela 20: Valoração final das seis esferas para os Cenários A, B, C1-C2 e D1-D2 no caso de rompimento da B I

ESFERA	A	B	C1	C2	D1	D2
Econômica	7.921.767,52	40.144.884,13	3.919.191.930,10	3.916.967.351,70	4.014.465.764,84	4.011.201.066,04
Saúde e Segurança	49.291,70	825.617,05	1.425.683.316,16	37.929.918,54	1.898.239.109,18	48.456.000,31
Social	128.886,38	1.716.336,57	2.564.060,81	2.430.586,11	6.928.019,55	6.732.137,62
Meio Ambiente	0,00	0,00	881.024.712,66	881.024.712,66	957.499.747,61	957.499.747,61
Órgãos Reguladores	0,00	0,00	611.907.347,43	611.907.347,43	622.087.893,43	622.087.893,43
Imagem da Empresa	0,00	0,00	4.844.476.990,69	1.050.509.501,10	7.103.370.988,00	1.405.463.319,71
TOTAL	8.099.945,60	42.686.837,75	11.684.848.357,85	6.500.769.417,54	14.602.591.522,60	7.051.440.164,71

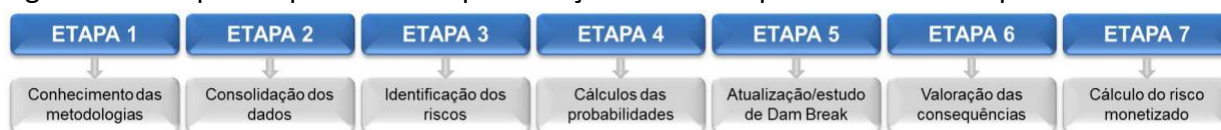
Fonte: Valoração das Consequências, Potamos, 2017

3.1.5. Etapa 5 – Análise de Risco

A quinta e última etapa do trabalho de “CÁLCULO DO RISCO MONETIZADO em caso de ruptura da B I da mina Córrego do Feijão” foi a “Análise de Risco” monetizado (documento POTVAL02G2-1-TC-RTE-0058) e tem como objeto apresentar os estudos realizados para o cálculo do risco monetizado da B I, considerando-se os cenários de quantificação das probabilidades e de valoração das consequências desenvolvidos nas etapas anteriores.

Inicialmente é definido o conceito de risco (probabilidade x consequências) e que dentro deste contexto foram estabelecidos os valores de probabilidade para os modos de falha associados à galgamento, instabilização, erosão interna e liquefação, bem como verificadas as consequências e definidos os custos decorrentes de uma eventual ruptura da barragem, nas esferas de **Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Econômica, Imagem da Empresa, Social e Órgãos Reguladores**”. Assim, para a quantificação monetária dos riscos foram seguidas sete etapas, conforme figura 165 trazida do estudo.

Figura 165: Etapas do processo de quantificação dos riscos para eventual rompimento da B I



Fonte: Análise de Risco Monetizado, Potamos, 2017

Por fim, o estudo traz a tabela 21 com cálculos dos valores de risco monetizado para a barragem B I.

Tabela 21: Valores de risco monetizado para a Barragem I

Evento / Modo de Falha	Cenário	Descrição	Probabilidade da chuva	Probabilidade do modo de falha	Probabilidade final *	Consequência (R\$)	Risco (R\$)
Galgamento	D1	Dia Chuvoso - Ruptura Noturna - SEM alerta prévio	-	1,00E-08	1,00E-08	14.602.591.523	146
	D2	Dia Chuvoso - Ruptura Noturna - COM alerta prévio				7.051.440.165	71
Instabilização	C1	Dia Seco - Ruptura Noturna - SEM alerta prévio	-	1,00E-08	1,00E-08	11.684.848.358	117
	C2	Dia Seco - Ruptura Noturna - COM alerta prévio				6.500.769.418	65
	D1	Dia Chuvoso - Ruptura Noturna - SEM alerta prévio	1,00E-04	1,00E-08	1,00E-08	14.602.591.523	146
	D2	Dia Chuvoso - Ruptura Noturna - COM alerta prévio				7.051.440.165	71
Erosão Interna	C1	Dia Seco - Ruptura Noturna - SEM alerta prévio	-	2,00E-04	2,00E-04	11.684.848.358	2.336.970
	C2	Dia Seco - Ruptura Noturna - COM alerta prévio				6.500.769.418	1.300.154
	D1	Dia Chuvoso - Ruptura Noturna - SEM alerta prévio	1,00E-04	2,00E-04	2,00E-08	14.602.591.523	292
	D2	Dia Chuvoso - Ruptura Noturna - COM alerta prévio				7.051.440.165	141
Liquefação	C1	Dia Seco - Ruptura Noturna - SEM alerta prévio	-	3,00E-04	3,00E-04	11.684.848.358	3.505.455
	C2	Dia Seco - Ruptura Noturna - COM alerta prévio				6.500.769.418	1.950.231
	D1	Dia Chuvoso - Ruptura Noturna - SEM alerta prévio	1,00E-04	3,00E-04	3,00E-08	14.602.591.523	438
	D2	Dia Chuvoso - Ruptura Noturna - COM alerta prévio				7.051.440.165	212

Fonte: Análise de Risco Monetizado, Potamos, 2017

Obs.: A probabilidade final corresponde ao produto das probabilidades de ocorrência dos eventos independentes simultâneos. Logo, nas rupturas em dia chuvoso cujo galho não seja o próprio evento hidrológico, a probabilidade final = (probabilidade do modo de falha) x (probabilidade da chuva decamilenar), limitada, por premissa, a 1,0E-08.

O estudo conclui que (grifo nosso):

- “O valor das consequências para os cenários de ruptura sem alerta prévio (C1 e D1) é da ordem de R\$ 14 bilhões, caindo para cerca de R\$ 7 bilhões nos cenários de ruptura com alerta prévio (C2 e D2);
- **A emissão de alerta prévio à ruptura diminui o potencial de perdas de vidas e, também, o custo das consequências e o risco monetizado da barragem;**
- O cenário de ruptura mais severo, que apresenta o maior risco, é o C1 por liquefação, sem alerta prévio, com risco monetizado igual a R\$ 3,5 milhões. Quando desconsiderados os danos da Vale na valoração das consequências, esse risco cai para R\$ 891 mil.

O documento não traz uma conclusão definitiva sobre o significado do “valor do risco” encontrado no estudo. Representante da empresa que elaborou o documento, em entrevista, declarou que o valor calculado, por si só, não tem um significado específico, e deve ser visualizado na matriz de risco, que, no caso, **demonstra um risco inaceitável**.

Apesar de expressamente concluir que a emissão de um alerta prévio à ruptura diminuiria o potencial de perdas de vidas, não foi constatado nenhum ponto de alerta, como o acionamento de sirenes, quando do rompimento da B I.

3.1.6. Notas Técnicas

Ainda dentro do Cálculo do Risco mencionado, a Potamos também elaborou, conforme já mencionado, as notas técnicas “Discussão Sobre os Ensaios de Campo e Laboratório - Potamos POTVAL02G2-1-TC-RTE-0067” e “Alternativas Avaliadas para Incremento da Segurança Quanto à Liquefação - POTVAL02G2-1-TC-RTE-0068”, que analisamos no Capítulo 2 da Parte II (A Drenagem da Barragem I) e no Capítulo 1 da Parte III (Liquefação da Barragem I), respectivamente.

Parte IV:

Fatores organizacionais relacionados à Barragem I

Capítulo 1: Programas de Gestão de Segurança

1.1. Introdução

Neste capítulo analisamos os programas de gestão de segurança, previstos em normas diversas, a fim de lançar luz sobre em que estágio estava a cultura de segurança na Mina Córrego do Feijão, especialmente nos aspectos que envolviam os riscos relacionados a Barragem I.

1.2. PGR – Programa de Gerenciamento de Riscos

Analisamos o documento-base do PGR, apresentado pela empresa, Revisão de 07 de julho de 2016, Análise Global 25/06/2018, assinado por Robert Kennedy Luiz de Sousa, Engenheiro de Segurança do Trabalho da Vale S/A, Coordenador Técnico, contendo 32 páginas, além do Anexo de Riscos Ambientais - Documento de Desenvolvimento, com 24 páginas e também outros 22 Anexos, entre eles: Orientações ao Responsável pela Implantação do PGR, Terminologia, Cronograma de Atividades e de Implantação de Medidas de Controle, Relação de EPI por Função, Resultado das Avaliações Quantitativas da Exposição dos Riscos Ambientais e SIPATMIN.

O PGR deve dar o direcionamento da antecipação e identificação de fatores de risco, levando-se em conta, inclusive, as informações do Mapa de Risco elaborado pela CIPAMIN, quando houver; estabelecer prioridades, metas e cronograma; avaliar os fatores de risco e da exposição dos trabalhadores; acompanhar as medidas de controle implementadas; monitorar a exposição aos fatores de riscos; registrar e fazer a manutenção dos dados por, no mínimo, vinte anos; e ser avaliado periodicamente.

Além disso, deve tratar dos seguintes assuntos: riscos físicos, químicos e biológicos; atmosferas explosivas; deficiências de oxigênio; ventilação; proteção respiratória, de acordo com a Instrução Normativa nº. 1, de 11/04/94, da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho; investigação e análise de acidentes do trabalho; ergonomia e organização do trabalho; riscos decorrentes do trabalho em altura, em profundidade e em espaços confinados; riscos decorrentes da utilização de energia elétrica, máquinas, equipamentos, veículos e trabalhos manuais; equipamentos de proteção individual de uso obrigatório, observando-se no

mínimo o constante na Norma Regulamentadora nº. 6; **estabilidade do maciço**; plano de emergência; e outros resultantes de modificações e introdução de novas tecnologias.

Em relação aos aspectos gerais do Programa apresentado pela empresa, o documento-base trata apenas de questões teóricas. A seguir se discorre sobre algumas irregularidades encontradas no Programa, conforme estabelece a NR-22.

O Anexo III do PGR (pág. 29 a 31) traz referência às alíneas “a” a “i” e “l” do item 22.3.7 da NR-22. O Programa trata algumas destas alíneas como RAC (Requisitos de Atividades Críticas). No total são 10: trabalho em altura; condução de veículos automotores; equipamentos móveis; energias (bloqueio e etiquetagem); içamento de cargas; espaço confinado; proteção de máquinas; taludes, depósito de estéril, rejeito e produtos; explosivos; e energia elétrica. Também se faz referência a atividades em ambientes ou locais com deficiência de oxigênio e ventilação; PPR, investigação e análise de acidente; ergonomia; ferramentas portáteis; e utilização e manuseio de produtos químicos. No entanto, são só referências. Não se discorre a respeito. Não há menção sobre plano de emergência e outros resultantes de modificações e introdução de novas tecnologias, expressos nas alíneas “m” e “n”. Não há, portanto, uma elaboração adequada do Programa.

O conteúdo do RAC 8, que trata diretamente de taludes, depósito de estéril, rejeitos e produtos, deveria ter sido passado para todos os empregados da Vale e das terceirizadas que trabalhavam no local das barragens, incluindo a B I, mas isto não foi feito. Por meio de depoimento de empregados de empresas terceirizadas, ficou evidenciado que a Vale não ministrou treinamento algum sobre este RAC específico, e sim, sobre os RAC 2 (condução de veículos automotores), 3 (equipamentos móveis) e 7 (proteção de máquinas). Além disso, na lista entregue pela Vale sobre treinamento do Plano de Ação de Emergência de Barragens de Mineração- PAEBM não constam informações sobre a presença de empregados de terceirizadas.

Outro ponto encontrado com deficiência no PGR é o que trata de cronograma, metas e prioridades. O Programa estabelece (pág. 28) cronograma com três itens: estabelecer metas e prioridades; divulgar o PGR e suas ações na CIPAMIN e realizar análise global. Este é completado pelo Anexo III “Cronograma de Atividades e de Implantação de Medidas de Controle”, do documento Anexo de Riscos Ambientais - Documento de Desenvolvimento (pág. 21 e 22) com mais oito ações: garantir manutenção e eficácia do PPR; auditar fichas de EPI dos empregados mapeados pelo PPR; realizar avaliações das Legislações aplicáveis às gerências; realizar o SIPATMIN; desativar a subestação antiga da IBR na Mina; instalar prensa para montar e desmontar pneus de grande porte na PII; automatizar processo de conferir abertura de britador ou construir plataforma de trabalho; e fazer melhorias nas vias de acesso, mantendo as vias isentas de buraco.

Quanto a metas, o PGR traz apenas duas em relação a acidentes referentes ao fechamento do ano de 2018. Uma empresa, com a atividade de risco 4, deveria tratar de mais prioridades e metas especificadas, já que incluída no Programa, anexo I (pág. 27) “Metas e Prioridades de Avaliação e Controle”. Não há apresentação das etapas de estabelecimento de metas nem prioridades das medidas de controle dos riscos ambientais dos variados locais de trabalho. Se a meta é reduzir acidente, deveria ter especificado quais os locais com maior risco

e número de acidentes na Mina, assim como o que fazer para se evitar tais ocorrências e não, simplesmente, colocar como meta a diminuição do número de acidentes.

A empresa apresentou arquivo denominado "Redução Fator Risco - Lideranças Consolidado 04-01-2019.rar", anexo do PGR, que contém tabela intitulada "Proposta de Redução de Riscos Muito Alto e Alto para níveis inferiores em 2018". Esta tabela apresenta colunas com a situação de risco com valor atual e controle previsto com residual planejado. São nove assuntos tratados sobre temas diversos, como: eletricidade, equipamentos pressurizados, queda em diferença de nível, movimentação de equipamentos e veículos, partes móveis desprotegidas, entre outros em locais específicos. Desses, três foram concluídos, conforme documentação apresentada pela empresa. Já com relação aos outros, não há como saber se estavam em andamento ou não, devido a falta de cronograma.

As metas, prioridades e cronograma não trazem em momento algum o assunto das barragens, em especial a B I. Conforme análise de diversos documentos descritos neste relatório, muitas intervenções não foram realizadas no local e outras estavam em processo e não foram registradas no Programa.

Outro ponto abordado no PGR são as medidas de controle. Na página 13, do documento base, especifica-se que o planejamento e implantação destas medidas são de responsabilidade das lideranças das áreas ou da localidade, que deverá elaborar e executar o Plano de Ação Gerencial do Anexo de Riscos Ambientais do PGR. Neste Anexo, intitulado "Anexo Riscos Ambientais- Documento de Desenvolvimento" (pág. 11 e 12), é apontado que: "para cada categoria de risco estabelecida é definido um conjunto de ações, de modo a determinar as medidas de controle a serem adotadas em função do potencial de danos oferecidos pela exposição aos riscos ambientais avaliados, bem como a prioridade de adoção de tais medidas". Segue dizendo que "informações mais detalhadas, sobre as medidas de proteção da exposição dos empregados aos riscos ambientais poderão ser obtidas no setor de Higiene Ocupacional".

Já o Anexo I "Orientações ao Responsável pela Implementação do PGR" do Anexo de Riscos Ambientais- Documento de Desenvolvimento, na alínea "K", cita que "todo documento que sirva de evidência da adoção de medidas de controle das exposições ocupacionais aos riscos ambientais deve ser anexado ao PGR". Assim como na alínea "L", que "o registro de dados referente à implantação do PGR pelas Gerências não deve estar restrito a este documento". E que "qualquer ação, tanto na alteração ou revisão de reconhecimento e da avaliação da exposição ocupacional aos riscos ambientais, quanto no controle dessas exposições, deve ser registrada e anexada a este Programa".

Muito embora a parte teórica esteja bem descrita e detalhada, não há menção sobre os ambientes de trabalho da Mina do Córrego do Feijão, muito menos, dentre os riscos encontrados (colocados apenas no Anexo V "Resultado das Avaliações Quantitativas da Exposição dos Riscos Ambientais" do Anexo de Riscos Ambientais - Documento de Desenvolvimento), as medidas de controle implantadas e programadas. Enfim, não há uma análise crítica do Programa.

Quanto à relação dos riscos físicos e químicos, apresentados no Anexo V "Resultado das Avaliações Quantitativas da Exposição dos Riscos Ambientais" do Anexo de Riscos Ambientais-

Documento de Desenvolvimento, não há nenhuma análise destes dados, tampouco indicação de histórico das medições.

Neste anexo há uma coluna denominada "Critérios de Aceitabilidade (Legislação Brasil), que indica se as medições de riscos físicos e químicos estão aceitáveis ou inaceitáveis. Apesar de várias medições estarem acima dos limites aceitos, não há demonstração de alguma atitude da empresa para que este quadro fosse alterado e nem o indício de novas medições para tais agentes de risco nos locais de trabalho. O PGR teve sua revisão em 07/07/2016, com análise global em 25/06/2018.

Como não há no Programa indicação de medições anteriores, também não é possível saber se estas superaram os limites de tolerância aplicáveis e se a empresa tomou alguma atitude para minimizar a exposição nos postos de trabalho, já que o PGR apresentado não trata de tal assunto.

Tanto que nas páginas 18 e 19 do Programa - Anexo Riscos Ambientais - Documento Base, há um tópico intitulado "Análise Global do Anexo de Riscos Ambientais do PGR", em que são abordadas apenas questões teóricas e que se limita a citar que a partir de uma análise global será elaborado um relatório técnico a ser anexado ao Anexo de Riscos Ambientais do PGR. A Vale não apresentou, contudo, nenhuma análise nem relatório dos anos anteriores que demonstraria preocupação em monitorar a exposição dos trabalhadores aos fatores de risco.

1.3. CIPAMIN - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração

Em 28/01/2019, alguns membros da CIPAMIN - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração, Gestão 2018/2019, se reuniram para a realização da reunião extraordinária, referente ao acidente tratado neste nosso relatório. Apesar de já terem sido apuradas pela empresa, algumas informações sobre o rompimento da B I, como data, horário, locais envolvidos e provável número de vítimas (resgatados com vida, sem vida e desaparecidos), não há menção alguma sobre estes fatos na ata da reunião.

Tanto nas 25 atas apresentadas de cinco Gestões da CIPAMIN (2014/2015; 2015/2016; 2016/2017; 2017/2018; e 2018/2019), quanto na ata da reunião extraordinária, verifica-se que seus membros não se manifestaram sobre qualquer conhecimento a respeito de anomalias que vinham ocorrendo ou quaisquer outros assuntos relacionados à B I.

Apenas o RAC (Requisitos de Atividades Críticas) número 2, que dizia a respeito de veículos automotores, foi abordado. As reuniões sempre pautavam sinalização e velocidade das vias. Os outros nove RAC, dentre eles o 8, que trata de estabilidade de solo, e engloba as premissas para atividades em que haja taludes, escavações, depósito de estéril, **barragem**, túneis e galerias subterrâneas, **em nenhum momento foram reportados**.

Em síntese, os assuntos que deveriam gerar discussão e maior cuidado com a segurança dos empregados não eram tratados.

1.4. Mecanismos de controle externo

Além do controle feito pela própria Vale, diretamente ou através de empresas contratadas, a barragem era objeto de painéis independentes e de auditoria por órgãos governamentais.

1.4.1. SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente

Em 26 e 27 de abril de 2017 a mina Córrego do Feijão foi vistoriada pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente, para fins de licenciamento relacionado aos processos de continuidade das operações das minas de Jangada e Córrego do Feijão. O Relatório de Vistoria³⁷ cita que no momento não estava sendo feito nenhum tipo de lançamento de rejeito na B I. A barragem foi vistoriada também em 27, 28 e 29 de setembro de 2017.

Em 14/11/2018 foi realizada nova vistoria no complexo da Vale em Brumadinho, para atendimento de requisição do Ministério Público a respeito do cumprimento de condicionantes dos processos que licenciaram as barragens. O Auto de Fiscalização³⁸ cita que estavam sendo instaladas sirenes e sistemas de alerta nas comunidades vizinhas às barragens para o caso de emergência. Relata que havia número considerável de bovinos e alguns equinos no local; a B I estava com a operação paralisada devido a mudanças na operação da mina, e encontrava-se seca e foi informado que quando havia acúmulo de água de chuva esta era bombeada até Tulipa para ser drenada; dentro da barragem havia vegetação gramínea e algumas estruturas de ferro para a alimentação por mangotes (sem uso e sem tubulação acoplada); havia obras de restauração nas escadas de drenagem externas (para manutenção e reparos de trincas e rachaduras, segundo informado). Foi ainda informado pela Vale que a barragem “mantém os monitoramentos geotécnicos, todos os aparelhos de monitoramento e piezômetros com nuam instalados e operando e passa por auditorias periódicas”.

1.4.2. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

Em 24 e 25 de fevereiro de 2016 a mina foi vistoriada pelo então DNPM, atual Agência Nacional de Mineração (ANM), tendo sido lavrada a Notificação nº 078/2016, que determinava adequações para as barragens do complexo. Para a B I a Vale foi notificada, resumidamente, a:

1. Realizar adequações nos Planos de Ação de Emergência de Barragens de Mineração (PAEBM) do empreendimento, com ênfase na definição da Zona de Auto Salvamento, fluxo de ações em caso de sinistro e modos de alerta utilizados;
2. Atualizar as Cartas de Risco e Manuais de Operação de todas as barragens do empreendimento;

³⁷ Relatório de Vistoria 0466806/2017 - SISEMA

³⁸ Auto de Fiscalização nº 113874 e 113884/2018 - SISEMA

3. Realizar estudo de análise de liquefação da B I, baseado em nova campanha de investigação, coleta de amostras e informações representativas dos rejeitos existentes na fundação dos alteamentos a montante e da fundação do dique de par da;
4. Implementar melhorias de modo a garantir a Praia prevista no manual de operação da B I;
5. Implementar melhorias na área do Dreno de Pé da B I, de modo a disciplinar e monitorar o fluxo da drenagem interna existente;

Foram concedidos prazos entre quinze e noventa dias, dos quais a Vale recorreu (para os itens 1 a 3 acima), alegando o elevado número de barragens operadas pela empresa e intensificação das ações de fiscalização, “culminando no excesso de exigências formuladas e autos de infrações lavrados”, após o rompimento das barragens da Samarco Mineração S/A em 05/11/2015.

A Vale apresentou relatório de ações corretivas³⁹ demonstrando a regularidade da praia, mas não dos demais itens. Em 08/04/2016 solicitou maior prazo para adequação do PAEBM. Em 25/05/2016 informou “conclusão” das melhorias do dreno de pé da B I, com instalação de medidor de vazão; em 24/06/2016 informou a atualização da Carta de Risco; em 30/06/2016 informou atualização do PAEBM; e em 22/07/2016 apresentou relatório de estudo preliminar de liquefação, elaborado pela empresa Geoconsultoria⁴⁰, com resultados obtidos até o momento, tendo apresentado em dezembro de 2016 o Relatório de Auditoria Extraordinária 2016⁴¹, elaborado pela Geoconsultoria juntamente com o consultor Sco M. Olson.

Em 2018 foi reiteradamente autuada⁴² pelo não preenchimento do extrato de inspeção regular até o final da quinzena subsequente à inspeção de campo que gerou o preenchimento da ficha de inspeção regular da B I, conforme Art. 20 da Portaria DNPM nº 70.389/2017.

1.4.3. PIESEM - Painel Independente de Especialistas para Segurança e Gestão de Riscos de Estruturas Geotécnicas⁴³

Foram analisados os relatórios das reuniões de dezembro de 2017 (second meeting)⁴⁴, junho de 2018 (segunda reunião do PIESEM-N - Nacional)⁴⁵ e outubro de 2018 (third meeting)⁴⁶.

³⁹ PAR-CFJ07-G-RE001-R0, incluído no documento “Nomenclatura 48_2016.pdf”

⁴⁰ Relatório Geoconsultoria VL47-RT-06 Rev 1, de julho de 2016, incluído no documento “Nomenclatura 48_2016.pdf”

⁴¹ Relatório Geoconsultoria VL55-RT05, de dezembro de 2016, incluído no documento “Nomenclatura 48_2016.pdf”

⁴² Autos de Infração 359, 361, 362, 363, 364, 517, 549, 606, 679 e 793/2018 do DNPM-MG (Processo DNPM nº 931.344/2005)

⁴³ Independent Panel of Experts for Safety and Risk Management of Geotechnical Structures

⁴⁴ Report of The 2nd Board Meeting of the PIESEM (Final Version), Belo Horizonte, 20 December 2017: “Panel_Report_201712_comentado.pdf”

⁴⁵ Relatório da 2a. Reunião do PIESEM-N (Versão Final), Belo Horizonte, 5 de julho de 2018 : “Relatório PIESEM-N_201806_Final.pdf”

O Painel, na reunião de 2017, foi composto por Paulo Abrão, André Assis, David Bowles, Mário Cicareli, Paulo França, Sco Olson, Luis Valenzuela e Brian Wa s. Na de junho de 2018 (nacional), foi composto por Paulo Abrão, André Assis, Mário Cicareli e Paulo França, e na de outubro de 2018, foi composto por Paulo Abrão, André Assis, David Bowles, Paulo França, Sco Olson, Fernando Schnaid, Luis Valenzuela e Bryan Wa s.

Participaram das reuniões, além dos membros do Painel, Marilene Lopes, Renzo Albieri, César Grandchamp, Cris na Malheiros e Washington Pirete (junho de 2018); e César Grandchamp, Marilene Lopes, Renzo Albieri, Washington Pirete, Felipe Rocha, Andrea Leal Hornas, Artur Bastos Ribeiro, Alexandre de Paula Campanha, Hélio Márcio Cerqueira, bem como, segundo informações da CPI da Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, os diretores da Vale Silmar Magalhães Silva e Lúcio Flávio Gallon Cavalli (outubro de 2018).

Em 20 de dezembro de 2017, segundo o Relatório da reunião de 2017 do Painel, no caso da Vale, embora considerem uma vantagem no sentido de que existe um meio de engenheiros geotécnicos altamente qualificados que poderiam fazer (ou já estavam fazendo) várias das tarefas que em outras minas teriam que ser feitas pelo “Engenheiro Responsável” (EoR⁴⁷), como são empregados da Vale, não teriam a independência desejada para tal EoR.

Nas discussões do Painel foi observado que os procedimentos utilizados para apreciação de liquefação - incluindo coleta e interpretação de dados, cálculos de estabilidade, apreciação de probabilidade / risco etc. - variavam consideravelmente de consultor para consultor. **A falta de consistência nas apreciações significa que é quase impossível para que a Vale faça decisões consistentes e informadas em relação ao risco de liquefação em suas barragens de rejeitos.**

O Painel também considera que alguns dados laboratoriais existentes não são confiáveis e não são interpretados consistentemente. Dessa forma, recomenda que **apreciações de liquefação usem testes de campo como o meio primário para análise de resistência de cisalhamento não-drenada necessária para análise de estabilidade; o uso de testes de laboratório para essa resistência não-drenada devem ser desconhecidos até que a Vale tenha completado um Manual de Padrões relacionado à liquefação** e os contratados adequadamente treinados. Essas resistências e razões de resistência devem ser comparadas às resistências retro-calculadas a partir da falha de liquefação estática que ocorreu na barragem de Germano.

Embora o Painel considere que os registros de falhas em barragens de rejeitos em Minas Gerais mostre que barragens em operação tenham ruptura mais provável que barragens fora de operação, **recomenda que a Vale adote o Fator de Segurança (FS) de pelo menos 1,3 para barragens fora de operação.**

O documento cita que, em áreas remotas, a mobilidade do pessoal responsável pelo monitoramento da barragem é algumas vezes difícil e cara, e pode ser difícil de “ver” qualquer problema entre medições, que podem ocorrer apenas a cada duas semanas ou mensalmente.

⁴⁶Report of The 3rd PIESEM Meeting (Final Version), Belo Horizonte, 17 December 2018: “Panel_Report_201810_Final.pdf”

⁴⁷O EoR é o engenheiro profissional responsável por garantir que a estrutura de rejeitos seja desenhada, construída, operada e descomissionada com o cuidado apropriado para saúde e segurança e o meio-ambiente. O ICMM sugere que o EoR pode em algumas circunstâncias ser um empregado da mineradora, mas o Painel não é favorável a essa opção, considerando a necessidade de independência de caráter nas funções de EoR.

Cita a necessidade de automatizar alguma ou toda a instrumentação, conforme a Portaria DNPM 70.389 de 2017 - Para barragens classificadas como de Alto Potencial de Dano, ... , o empregador é obrigado a manter monitoramento com acompanhamento em tempo integral adequado à complexidade da estrutura, sendo de sua responsabilidade a definição da tecnologia, dos instrumentos e dos processos de monitoramento (Art. 7º § 2º) - **ressaltando que nessa circunstância o requerimento legal deve ser cumprido sem necessidade de jus fica va técnica ou processo de triagem**. Informa que quanto a esse assunto a Vale apresentou um plano abrangente para automação do monitoramento.

No relatório da reunião do painel nacional, de 5 de julho de 2018, foi relatado que “mesmo com o **resultado das análises não drenadas de estabilidade indicando fatores de segurança mais baixos que as práticas recomendadas**, as declarações de estabilidade foram emitidas”, e que há ainda muita incerteza com relação ao tema, que não é exclusiva da Vale, sendo demonstrada internacionalmente, tendo sido apresentados estudos para sua minimização, com base em ensaios de campo e de laboratório. **O Painel considerou o fator de segurança maior ou igual a 1,3 adequado para análise em condição não drenada, já que o modo de falha requer a atuação de galho, que tende a ter baixa probabilidade de ocorrência.**

No relatório da segunda reunião internacional, de 17 de outubro de 2018, informa que, após interpretação dos resultados de testes CPTu, **todos os rejeitos saturados foram considerados com potencial de liquefação. Três seções transversais ao longo da barragem foram analisadas e o menor Fator de Segurança (FS) foi da ordem de 1,1.** Algumas medidas foram adotadas para tentar baixar o nível freático dentro da barragem, incluindo bombeamento da água livre remanescente no reservatório, coleta de água superficial proveniente de montante com drenagem direta no extravasor, e instalação de Drenos Horizontais, de 100m de comprimento, no dique de par da e no recuo. A instalação dos drenos horizontais foi paralisada após um incidente, possivelmente devido a problemas de instalação. Como a posição dos níveis freáticos dentro da barragem afeta fortemente a segurança da estrutura, **recomenda que a instalação dos drenos seja retomada assim que possível**, com uma empreiteira experiente, **bem como a procura por alternativas de se baixar o nível de água, incluindo poços.**

Cita que resultados das análises de estabilidade de taludes mostram que o nível piezométrico nas partes altas afeta substancialmente o fator de segurança, e também menciona que, isoladamente, bermas ou lavra de rejeitos não são suficientes para efetivamente aumentar a segurança da estrutura, podendo ser necessário combiná-los com o rebaixamento do nível piezométrico, e isso reforça a necessidade de aplicar todas as medidas possíveis de remoção de água, incluindo os drenos horizontais já mencionados e os necessários para evitar fluxos superficiais do maciço natural.

Considerando os resultados das análises de estabilidade não drenadas, diversas restrições operacionais foram impostas à barragem, com o objetivo de evitar um galho de liquefação. O painel **recomenda que se continue a instalação de drenos horizontais no recuo e no dique de par da; observando as restrições impostas para prevenir um galho de liquefação**, e reconhece que, além da recomendação de retomar assim que possível as medidas já comentadas, não sejam tomadas outras ações até que resultados da investigação

complementar sejam concluídos e nova apreciação de estabilidade seja feita.

O Painel aborda diversos cálculos de avaliação e gestão de riscos de perdas de vida e materiais no caso de rompimento. Como notas de conclusão, cita que a barragem requer mais investimento e monitoramento para identificar e desenhar medidas complementares mais eficientes, como lavra de rejeitos e bermas caso se prove necessário para reduzir o risco presente, mas enquanto isso os esforços para continuar tentando baixar o nível freático atual por meio de drenos horizontais e outras soluções de drenagem devem continuar. O painel considera viável a lavra de rejeitos, entretanto um plano formal e detalhado de engenharia é necessário.

Capítulo 2: Planos de Emergência

2.1. Plano de Emergência

A Norma Regulamentadora 22 (NR-22⁴⁸), em sua redação em vigor no período que antecedeu o acidente na Mina do Córrego do Feijão, previa em seu subitem 22.32.1 que **toda mina** deveria possuir um Plano de Emergência⁴⁹.

Segundo ainda a NR-22, este Plano deveria ser capaz de identificar os maiores riscos presentes **em cada mina**. Além disso, descrever os procedimentos de operações em caso de incêndio, inundação, explosões, desabamentos, acidentes maiores e outras situações de emergência em **função das características da mina** e dos produtos e insumos utilizados;

Referido Plano deveria ainda indicar a localização de equipamentos e materiais necessários para as operações de emergência e primeiros socorros; descrição da composição e os procedimentos de operação das brigadas de emergência e o treinamento periódico destas brigadas.

A norma impunha, por fim, que o documento deveria prever simulações periódicas de situações de salvamento; definição das áreas e instalações para refúgio em caso de emergência; definição dos sistemas de comunicação e sinalização de emergência e articulação da empresa com órgão da defesa civil.

Neste contexto, analisando a documentação apresentada pela Vale para atender a notificação da Auditoria Fiscal do Trabalho, especialmente o documento intitulado Plano de Atendimento à Emergência de Ferrosos Sul - PTP 00889 – constatamos que a Vale não possuía **um Plano de Emergência específico da mina Córrego do Feijão**, tampouco possuía um Plano de Emergência que contemplasse todas as exigências da NR-22 em seu item 22.32, conforme listado acima.

O documento apresentado é genérico e superficial, não apresentando de forma clara e definida quais procedimentos deveriam ser adotados em cada uma das possíveis emergências maiores na mina, tais como incêndios, explosões, inundações de cavas e queda de taludes.

Nas páginas 2 a 4 do documento, tópico 3, são apresentadas várias definições, dentre elas a definição de **Plano de Atendimento a Emergência – PAE**, que é descrito como “o

⁴⁸ NR 22 - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978

⁴⁹ A partir da publicação Portaria MTb n.º 1.085, de 18 de dezembro de 2018, o plano foi renomeado para Plano de Atendimento de Emergência

conjunto de medidas a serem adotadas no caso de uma emergência. O Plano de Emergência contém as diretrizes gerais adotadas pela Vale; definição de responsabilidades; lista de contatos; identificação dos principais riscos da Gerência; procedimentos para abandono de área; paradas de emergência; derrames/vazamentos de produtos; incêndio; explosões; enchentes e outros pontos de emergência; comunicação interna e externa e treinamento”.

Todavia, não é possível extrair da leitura do citado Plano quais seriam os responsáveis pela operacionalização do PAE, assim como não é possível identificar uma lista de contatos dos responsáveis pelo Plano de Emergência. Não há, como já dito, a identificação dos principais riscos, assim como não há a descrição dos procedimentos a serem adotados em caso de emergência e não há, também, a demonstração de que os trabalhadores potencialmente afetados viessem participando de simulações de situações de emergência. Em resumo, o documento apresentado limita-se a dizer o que ele deveria conter, mas sem efetivamente expor este conteúdo, para quase nenhum dos seus itens.

No item 4 do documento, “**Aplicação**”, é dito que o Plano de Atendimento a Emergência tem abrangência em todas as unidades de Ferrosos Sul, inclusive a Mina de Córrego do Feijão e que está **integrado ao Plano de Atendimento a Emergências em Barragens de Mineração – PAEBM** “para uso dos recursos humanos e materiais em situações que demandem esta atuação, descritas no PAEBM”.

Ou seja, não havia um Plano de Emergência (conforme a previsão da NR-22) específico para a Mina Córrego do Feijão. Cabe salientar que o texto da NR-22 é bem claro em impor que o Plano de Emergência deve ser específico para cada mina, conforme destacado no início deste tópico.

Outrossim, não há, ou pelo menos não nos foi demonstrado, a existência de um documento que definisse quais eram as principais possíveis situações de emergência da mina.

Além de inapto, por ser raso e genérico, o Plano, no seu item 7, **Acionamento de Emergência**, afirma que o “acionamento das situações de emergência deve ocorrer através do CCS (Central de Controle de Segurança) ramal 111, telefone 0800 286 8053 ou celular (31) 99647 5371. Qualquer pessoa, visitante, colaborador ou terceiro, pode identificar o cenário de emergência”.

Pela leitura do documento fica evidenciado que uma situação de emergência e consequentemente todos os outros procedimentos determinados no Plano a partir de uma eventual emergência só serão iniciados pela CCS. Ou seja, caso esteja ocorrendo um incêndio num prédio administrativo, uma explosão num paiol, ou um desmoronamento de uma barragem, alguém deverá ligar para uma central de controle que avaliará a situação para caso entenda necessário acionar o plano de emergência, nem mesmo um alerta por meio de sirenes é possível de ser feito sem antes a CCS ser comunicada.

O item 11, **Simulados de Emergência e Ocorrências Reais**, diz que serão realizados “simulados de emergência em todas as Operações de Ferrosos Sul” e que os “cenários deverão ser distribuídos entre as unidades operacionais”. Ocorre que o documento apresentado pela Vale não demonstra que foram realizados simulados para cada uma das possíveis situações de emergência na Mina, assim como não há a comprovação da participação de todas as pessoas que poderiam ser afetadas por essas emergências.

Não é cansa vo destacar que as situações de emergência que deveriam estar contempladas no Plano de Emergência (do item 22.32 da NR-22) vão muito além da barragem, envolvendo todas as outras estruturas da mina onde pode ocorrer *incêndio, inundação, explosões, desabamentos, acidentes maiores e outras situações de emergência em função das características da mina*.

No item 13.1, **Recursos Humanos**, é dito que a equipe de resposta a emergência será composta por no mínimo bombeiros, técnico de enfermagem, médico e brigadista voluntário (não obrigatório este último), ocorre que o documento não descreve a quantidade de cada um desses profissionais que irão compor a equipe e nem os nomes desses profissionais, assim como não são descritos seus procedimentos de operação em caso de emergência.

No item 13.2, **Recursos Materiais**, é afirmado que os “materiais a serem utilizados nos atendimentos a emergências serão compostos de caminhão de bombeiros, ambulância, extintores de incêndio e outros equipamentos a serem definidos conforme o cenário” e que “cada unidade operacional deverá manter atualizados os inventários de equipamentos de atendimento a urgência e emergência”. Todavia nem essa relação de equipamentos a serem utilizados em caso de emergência na Mina, nem a sua localização, foi apresentada.

No item 15, são descritos alguns anexos ao documento principal, todavia estes documentos, apesar de solicitados formalmente pela Auditoria Fiscal do Trabalho, não foram apresentados pela empresa, o que prejudicou sobremaneira a análise do Plano de Emergência.

A Vale não demonstrou, tampouco, a realização de simulados com a participação e mobilização dos trabalhadores potencialmente afetados para todas possíveis situações de emergências na Mina. Foram apresentados apenas dois simulados, um realizado em maio de 2017 e um segundo realizado em junho de 2018, sendo que o primeiro simulava uma situação de incêndio florestal atingindo locais com armazenamento de materiais inflamáveis e combustíveis (com incêndio ou explosão desses materiais). Do mesmo modo, o segundo simulado abordou uma situação de incêndio atingindo um paiol de explosivos.

A Vale também não demonstrou a realização de nenhum simulado, nos anos de 2017 e 2018, para outras situações de emergências tais como desabamentos de taludes, incêndios em prédios administrativos ou na ITM, ou qualquer outro acidente maior ou outras situações de emergência em função das características da mina e dos produtos e insumos utilizados. Cabe ressaltar que o Plano de Emergência apresentado pela Vale não define quais são as situações de possíveis emergências e os riscos maiores da mina Córrego do Feijão.

Outro ponto que deveria constar do Plano de Emergência da Mina, e que não foi demonstrado pela Vale, são os procedimentos de operação das brigadas de emergências para atuar em cada uma das situações de emergência identificadas na Mina.

Por fim, ressaltamos que, conforme consta da página 5 do plano de emergência (PAE), tal plano “está integrado ao PAEBM – Plano de Atendimento a Emergências em Barragens de Mineração”. Assim, é lógico concluir que todos os procedimentos e ditames constantes do PAEBM da B I deveriam ter sido seguidos pela Vale no caso de uma emergência ligada a essa estrutura e consequentemente atenderia, na medida do que coubesse, aos ditames exigidos na NR-22 no item 22.32 (Plano de Emergência). Todavia, conforme demonstraremos a seguir, o PAEBM da B I da mina Córrego do Feijão não foi adequadamente implementado.

2.2. PAEBM - Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração

2.2.1. Base Legal do PAEBM

O Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração – PAEBM está definido na portaria do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - DNPM Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017, hoje Agência Nacional de Mineração - ANM, como sendo um documento técnico e de fácil entendimento elaborado pelo empreendedor, no qual estão identificados as situações de emergência em potencial da barragem, estabelecidas as ações a serem executadas nesses casos e definidos os agentes a serem envolvidos, **com o objetivo de minimizar danos e perdas de vida.**

Conforme a portaria Nº 70.389/17, o PAEBM deve contemplar, pelo menos, os seguintes itens: I - identificação e análise das possíveis situações de emergência; II - procedimentos para identificação e no caso de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem; III - procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; IV - estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

Sua elaboração é obrigatória para todas as minas que possuem: 1- barragens de mineração classificadas com Dano Potencial Associado – DPA alto; 2- aquelas com DPA médio, mas que possuam pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem em caso de rompimento ou que o impacto ambiental no caso de rompimento seja muito significativo e agravado; 3- para as que armazenem substâncias (rejeito ou resíduo) classificadas como perigosas.

2.2.2. O PAEBM da B I

A barragem B I era classificada como DPA alto e seu PAEBM foi elaborado pela Walm Engenharia e Tecnologia Ambiental em 20/02/2018 (documento WBH34-17-VALE-RTE-0039). Inicialmente o documento faz uma introdução e a apresentação de objetivos, que nada mais é que uma cópia da legislação da ANM.

Logo após, é realizada a identificação da empresa e definições de contatos em caso de emergência na barragem. Neste item são definidos o coordenador e o coordenador suplente do PAEBM, Sr. Marco Conegundes e Sr. Alano Teixeira, respectivamente. É definido, também, o responsável pela elaboração do PAEBM, o Sr. Rodrigo Melo. Uma listagem de contatos externos também é apresentada no documento.

Seguindo a estrutura definida na portaria Nº 70.389/17 para elaboração do PAEBM, é realizado a descrição geral da barragem com suas principais características e dos acessos ao empreendimento minerário.

2.2.3. Detecção, avaliação e classificação das situações de emergência (níveis 1, 2 e 3)

No item 4 do documento, ainda seguindo a estrutura definida na portaria Nº 70.389/17, é abordada a detecção, avaliação e classificação das situações de emergência (níveis 1, 2 e 3). Assim, para a detecção e avaliação de uma situação de emergência o documento remete ao definido na já citada portaria, que assevera que:

uma situação de emergência é iniciada quando:

- I. Iniciar-se uma Inspeção Especial de Segurança da Barragem de Mineração; ou
- II. Em **qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura** (grifo nosso).

Sendo que, uma Inspeção Especial de Segurança - IES é iniciada sempre que :

- detectadas anomalias com pontuação 10 em qualquer coluna do Quadro 3 - Matriz de Classificação Quanto à Categoria de Risco (1.2 - Estado de Conservação), do Anexo V, devem ser realizadas Inspeções de Segurança Especiais (ISE) na forma desta Portaria.
- a qualquer tempo, quando exigidas pelo DNPM, bem como, **independentemente de solicitação formal pela autarquia, após a ocorrência de eventos excepcionais que possam significar impactos nas condições de estabilidade** (grifo nosso).

O PAEBM da B I afirma ainda que os principais eventos adversos que podem desencadear uma situação de emergência são:

- **Obstrução do sistema extravasor**, volume de amortecimento insuficiente para passagem de onda de cheia ou falhas em estruturas de concreto que podem ocasionar o galgamento da barragem;
- **Falhas no sistema de drenagem interna**, que podem gerar gradientes hidráulicos elevados e percolação não controlada de água (*piping*) no maciço ou na fundação;
- **Movimentos de assentamento do maciço**, baixa resistência dos materiais de fundação ou do maciço, **elevação das poropressões** ou eventos sísmicos, que podem gerar trincas, deformações e recalques, levando à instabilização da barragem;
- **Mau funcionamento do sistema de drenagem superficial** e falhas na cobertura dos taludes, que podem gerar erosões profundas, levando à instabilização da barragem;
- **Aumento no nível freático no maciço**, perda do comprimento de praia, declividade excessiva nos taludes, perda de resistência por parte do maciço ou fundação e eventos sísmicos, que podem gerar deslizamentos e escorregamentos dos taludes, levando à instabilização da barragem ou **liquefação dos rejeitos** (grifos nossos).

E assevera, ainda, que as “situações de emergência que, porventura, possam ocorrer na barragem estão associadas a determinadas causas, que por sua vez apresentam evidências que possibilitam sua identificação”. Sendo que as possíveis **causas de situações de emergência e suas evidências** são apresentadas no quadro 15 que trazemos abaixo:

Quadro 15 - Causas e evidências associadas aos modos de falha passíveis de ocorrer

Modo de Falha	Causa	Evidências ⁵⁰
Galgamento	Volume de amortecimento insuficiente	● Diminuição da borda livre ● Escoamento de água sobre o talude de jusante
	Obstrução do sistema extravasor	● Visualização de objetos, troncos, animais, solo, etc. dentro e/ou na entrada do sistema extravasor ● Diminuição da borda livre ● Escoamento de água sobre o talude de jusante
	Vazões acima da capacidade do extravasor	● Diminuição da borda livre ● Escoamento de água sobre o talude de jusante
Percolação não controlada de água (piping) no maciço ou na fundação	Gradientes hidráulicos elevados	● Surgências de água ● Carreamento de par culas ● Variação das poropressões (leitura dos piezômetros)
Instabilização	Baixa resistência do material de fundação / maciço	● Recalque diferencial do maciço ou ruptura de taludes ● Surgimento de trincas e/ou erosões ● Subsidência(s) ● Visualização de superfície crítica de ruptura
	Eventos sísmicos	● Recalque diferencial do maciço ou ruptura de taludes ● Surgimento de trincas e/ou erosões ● Subsidência(s) ● Visualização de superfície crítica de ruptura
	Elevação das poropressões	● Leitura de piezômetros ● Saturação do maciço

⁵⁰ Cabe destacar que as evidências para cada causa apresentada são somente um indicativo inicial, devendo ser avaliado, por profissional treinado, toda e qualquer anomalia identificada.

Liquefação dos rejeitos

- Presença de “sand boil”
- Recalque diferencial do maciço ou ruptura de taludes

Fonte: PAEBM - Plano de Ação de Emergência Para Barragens de Mineração – Barragem I – WBH34-17-VALE-RTE-0039

Considerações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Com base no exposto acima, constatamos que, em vários momentos desde 2015, a B I esteve em situação de emergência, sem o acionamento do PAEBM .

Lembramos que uma Situação de Emergência é acionada quando se iniciar uma Inspeção Especial de Segurança da Barragem de Mineração (ISE), que deve ser feita após a ocorrência de eventos excepcionais que possam significar impactos nas condições de estabilidade, ou em qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura.

Dentre as situações de emergência às quais a barragem B I esteve submetida desde 2015, citamos:

1. Fratura hidráulica (surgência) ocorrida no barramento a jusante quando da perfuração do DHP 15, em 11 de junho de 2018, conforme discutido no cap. 2 da parte II deste relatório. Tal anomalia deveria ter sido tratada como uma ocorrência de evento excepcional com possibilidade de impacto nas condições de estabilidade do barramento, fato que ensejaria a abertura de Inspeção Especial de Segurança - IES, que, por sua vez, define uma situação de emergência da barragem;
2. Constantes surgências ocorridas no ano de 2018. Conforme consta dos relatórios quinzenais de inspeções regulares realizadas na barragem B I no ano de 2018 (documentação apresentada pela Vale e discutido no cap. 4 da parte II deste relatório), as surgências de água e/ou a detecção anormal de umidade no talude de jusante do barramento passaram a ser uma constante. Em 2018, apenas nos meses de janeiro e maio não houve relatos de surgências/umidade nos relatórios de inspeção, em todos os outros meses foram detectadas surgências ou umidade elevada no talude da barragem B I. Tais situações também deveriam ter sido tratadas como eventos excepcionais com possibilidade de impacto nas condições de estabilidade do barramento, o que ensejaria, também, a abertura de Inspeções Especiais de Segurança - IES, que, por sua vez, define uma situação de emergência da barragem.
3. Fator de Segurança - FS para situação não drenada inferior a 1,3, inclusive cálculos com resultado de $FS < 1,0$, o que caracteriza uma situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura, ou seja, uma situação de risco grave e iminente de ruptura da barragem, conforme discutido no próximo capítulo deste relatório.

2.2.4. Ações esperadas para cada nível de emergência

No item 5 do PAEBM são apresentadas em tabelas, para cada possível nível de emergência da B I, as ações esperadas que deverão ser tomadas pela mineradora em caso de emergência na barragem.

Segundo o documento, em respeito à portaria citada, o nível de emergência 1 caracteriza-se por uma situação quando detectada anomalia que resulte na pontuação máxima de 10 (dez) pontos no Estado de Conservação da Matriz de Categoria de Risco, da Portaria no 70.389/2017, ou seja, quando iniciada uma Inspeção de Segurança Especial (ISE) e para qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura.

Já o nível 2 de emergência é caracterizado quando o resultado das ações adotadas na anomalia de Nível 1 for classificado como “não controlado”, de acordo a Portaria no 70.389/2017, que estabelece como “não controlado”, quando a anomalia que resultou na pontuação máxima de 10 (dez) pontos não foi controlada e tampouco exnta, necessitando de uma nova ISE e de novas intervenções a fim de eliminá-la. Segundo ainda o documento (pág. 17), a Zona de Autossalvamento – ZAS deve ser alertada e evacuada com deslocamento da população para os pontos de encontro.

O nível de emergência 3 é o mais crítico, caracterizado como situação de ruptura iminente ou já ocorrendo, e nesse nível a ZAS deve ser imediatamente alertada e evacuada com deslocamento imediato da população afetada para os pontos de encontro.

Considerações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Um ponto que chama a atenção nas ações para o nível 1 de emergência é que, para esse nível, as equipes de Segurança do Trabalho e de Saúde Ocupacional não são acionadas, contrariando, desta forma, o previsto no item 22.32 da NR-22 que exige um Plano de Emergência contemplando **toda e qualquer emergência**, independente do seu nível, causada pelos riscos maiores da mina e é evidente que a possibilidade de ruptura da barragem é um risco maior.

Além do mais, como já demonstrado, consta do Plano de Atendimento à Emergência de Ferrosos Sul - PTP 00889 que o esse Plano deveria estar integrado ao **Plano de Atendimento a Emergências em Barragens de Mineração – PAEBM**, o que na prática não ocorre, já que as equipes de Segurança do Trabalho e de Saúde Ocupacional só seriam acionadas caso a barragem fosse classificada em nível 2 de emergência.

2.2.5. Descrição dos procedimentos preventivos e corretivos

No tópico 6 do PAEBM é realizada a descrição dos procedimentos preventivos e corretivos para a garantia “da integridade da estrutura e manutenção do nível aceitável” de condição de segurança da B I, “de modo a evitar situações que ponham em risco a barragem e a área adjacente”.

Para tanto, segundo o documento, deveriam ser realizadas Inspeções de Segurança Regulares – ISR com frequência mínima de 15 dias, sendo que, identificadas **anomalias com pontuação máxima de 10 (dez) pontos**, conforme matriz de categoria de risco, da portaria nº

70.389/17 do DNPM, ou **constatada situação de emergência**⁵¹, o PAEBM deveria ser acionado e as ações preventivas implementadas, assim como a realização de Inspeção de Segurança Especial – ISE.

Outro procedimento preventivo descrito no documento é o monitoramento dos instrumentos de auscultação da barragem, por meio de leituras e análises dos dados obtidos por equipe técnica e engenheiros geotécnicos.

O terceiro e último procedimento preventivo definido no PAEBM da B I é a manutenção da estrutura de barramento. Segundo o documento a manutenção “é programada e realizada de modo a evitar o surgimento de uma possível anomalia ou a progressão da mesma, evitando comprometer a operação e segurança da estrutura”.

Os procedimentos corretivos, segundo o PAEBM, “devem ser executados caso ocorram problemas de desempenho que possam afetar a segurança da barragem, ou seja, quando detectada alguma anomalia que caracterize uma situação de emergência na barragem”.

Os procedimentos corretivos propostos para cada uma das situações de emergência previstas para a B I estão detalhados em fichas de emergências nos apêndices 11.9 a 11.11 do PAEBM apresentado (pág. 56 a 70). Nas fichas que tratam de situações de emergência em nível 3, está destacado que para todas as situações de emergências neste nível, independentemente do modo de falha, o primeiro procedimento a ser adotado pelo PAEBM da B I era **“REALIZAR IMEDIATAMENTE ALERTA NA REGIÃO DE AUTOSSALVAMENTO”**.

Considerações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Conforme discutido no cap. 4 da parte II deste relatório, as ISR vinham sendo realizadas e devidamente registradas no sistema de geotecnia próprio da Vale. Contudo, nem todas as anomalias estavam sendo devidamente tratadas. Várias destas anomalias, conforme abordamos no item anterior, enquadravam a Barragem em uma situação de emergência nível 1.

Além disso, no ano de 2018 as constantes surgências no barramento evidenciavam o nível freático elevado. A medida selecionada pela Vale para deplecionamento deste elevado nível freático foi a instalação de DHP, conforme discutido no cap.2 da parte II deste relatório. Entretanto foi apenas parcialmente adotada e não surtiu o efeito pretendido, já que as surgências permaneceram, de acordo com as ISR realizadas a partir de junho de 2018.

Desse modo, podemos inferir que uma vez que as medidas corretivas se mostraram insuficientes, o nível 2 de emergência deveria ter sido acionado pela Vale, conforme definido em seu PAEBM e na Portaria Nº 70.389/2017. Em consequência, a Vale deveria ter alertado e removido toda a população que se encontrava na ZAS, inclusive seus trabalhadores.

Ainda que a passagem da barragem para o nível 2 de emergência não tivesse sido constatada, é absolutamente indiscutível que o rompimento da barragem a enquadraria no nível 3 de emergência, que também demandaria, **de maneira imediata**, a adoção das medidas de alerta, como descrito nas fichas de emergência nº 10, 11 e 12 (págs. 67, 68 e 69) do PAEBM, que determina que o primeiro procedimento a ser adotado em caso de uma emergência de

⁵¹No próximo capítulo deste relatório será discutida a constatação de situação de emergência sob o prisma da legislação trabalhista

nível 3 na barragem (iminente ruptura ou está ocorrendo a ruptura) é "REALIZAR IMEDIATAMENTE ALERTA NA REGIÃO DE AUTOSSALVAMENTO" (grifo nosso).

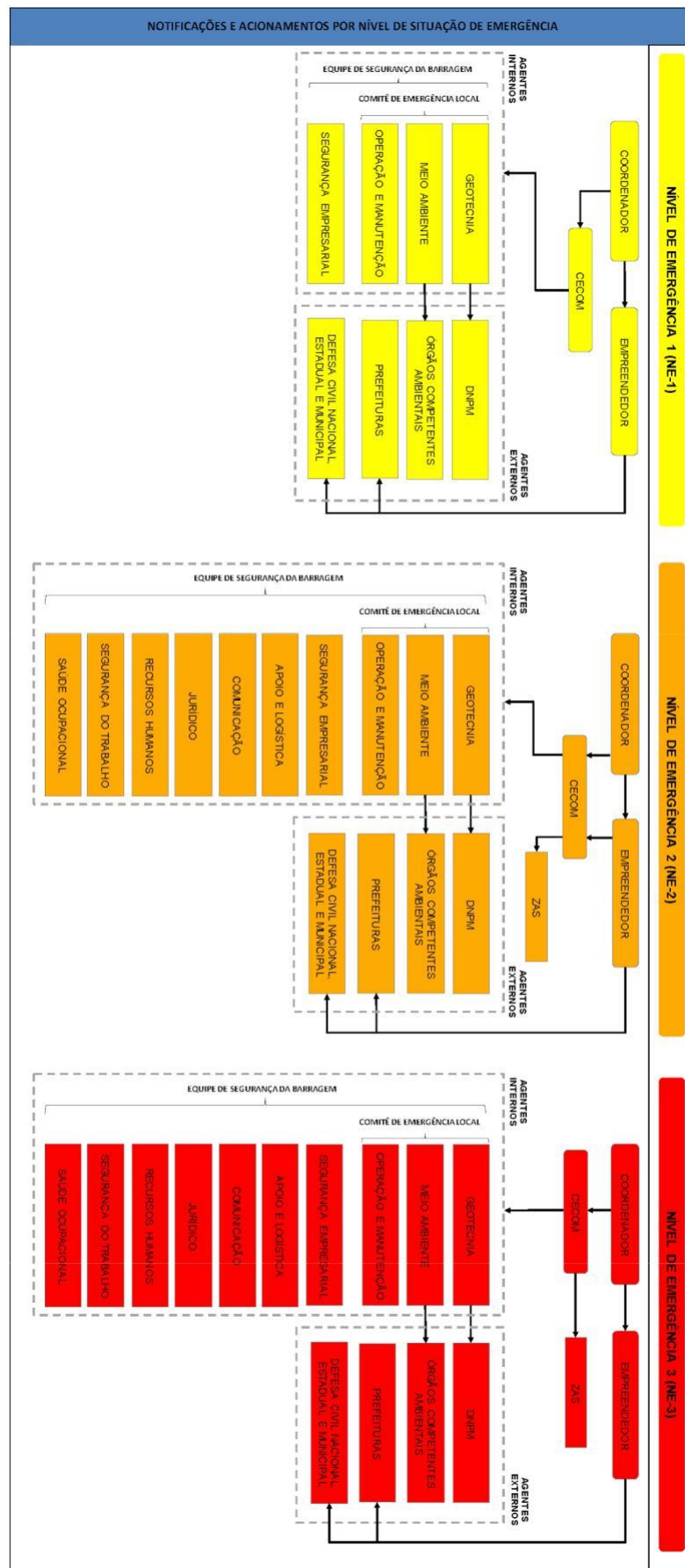
Todavia, ficou comprovado que nenhum po de alerta previsto no PAEBM, quais sejam, "acionamentos sonoros, comunicação direta com deslocamento imediato a área e contatos para telefones cadastrados da comunidade e demais agentes públicos", foi realizado pelo Centro de Controle de Emergências e Comunicação - CECOM. Tal fato ficou evidenciado nas diversas entrevistas com prepostos e empregados da Vale e de empresas terceiras, assim como pelos diversos meios de imprensa, havendo até mesmo uma declaração do então presidente da empresa de que as sirenes não foram acionadas pois teriam sido "engolfadas pela queda da barragem", o que não ocorreu.

2.2.6. Procedimentos de no ficação e sistema de alerta

No item 8, são apresentados os procedimentos de no ficação e sistemas de alerta em caso de emergência. É apresentado na página 25 do documento um fluxograma de no ficação (figura 166) para cada um dos níveis de emergência. Nesse fluxograma é possível observar, que independentemente do nível de emergência, o an go DNPM (hoje ANM), os órgãos ambientais, as prefeituras e as defesas civis nacional, estadual e municipais deveriam ser comunicados e que apenas a par r do nível 2 de emergência os setores de Segurança e Saúde do Trabalho seriam comunicados da emergência, contrariando, conforme já descrito, a Norma Regulamentadora NR-22.

A no ficação da zona de autossalvamento – ZAS, conforme consta do PAEBM, é prevista já no nível 2 de emergência e nesta situação seriam u lizados “diferentes mecanismos de comunicação” “com o uso de acionamentos sonoros, comunicação direta com deslocamento imediato a área e contatos para telefones cadastrados da comunidade e demais agentes públicos”. O documento assevera que as pessoas alocadas dentro da ZAS seriam orientadas a se deslocarem pelas rotas de fuga até os pontos de encontro, seguindo sinalização presente na área e que os mapas com as definições das rotas de fugas e dos pontos de encontros estão descritos nos mapas de inundação, anexo 11.13 do PAEBM.

Figura 166: Organograma de no ficação do PAEBM da barragem B I da mina Córrego do Feijão



Fonte: PAEBM - Plano de Ação de Emergência Para Barragens de Mineração – Barragem I – WBH34-17-Vale-RTE-0039, pág. 25

2.2.7. Responsabilidades durante a emergência

O PAEBM da B I em seu item 9 apresenta as responsabilidades do empreendedor, do coordenador, das equipes técnicas e defesa civil para uma situação de emergência da barragem. Nesse item destacamos que era responsabilidade da Vale, dentre outras, durante as ações de emergência na barragem: 1- declarar situação de emergência e executar as ações descritas no PAEBM; 2- executar as ações e no ficções previstas no fluxograma; 3- no ficar a defesa civil estadual, municipal e nacional, a(s) prefeitura(s) envolvida(s), os órgãos ambientais competentes e o DNPM em caso de situação de emergência; 4- Solicitar ao CECOM o alerta à população potencialmente afetada na Zona de Autossalvamento (ZAS), no Nível de Emergência 2, sem prejuízo das demais ações previstas no PAEBM e das ações das autoridades públicas competentes.

Destaca-se, também, as obrigações da equipe de geotecnia em caso de emergência na barragem, que deveria, dentre outras ações: 1- Deslocar imediatamente para o local onde foi iden ficado o incidente/acidente, para avaliar o cenário e o nível da emergência; bem como classificar a gravidade da situação de emergência iden ficada, conforme os níveis de Emergência (Níveis 1, 2 e 3 de acordo com Art. 37 da Portaria nº 70.389/2017 do DNPM) e reportar ao Coordenador; 2- Informar o início da situação de emergência ao DNPM; 3- Avaliar, definir e orientar ações corre vas necessárias; 4- Contatar responsável técnico pelo projeto e obra, e/ou consultor externo quando necessário.

Dentre as obrigações da equipe do CECOM, cabe salientar a responsabilidade de **acionar o sistema de alerta nas ZAS** em situação de emergência Nível 2, por solicitação do Empreendedor, ou automa camente no Nível 3, quando este for declarado.

Considerações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Transcrevemos o art. 38 da portaria nº 70.389/17 do DNPM:

Art. 38. Quando a **emergência for de Nível 3**, estando, ao menos, em situação de iminência de ruptura, sem prejuízo das demais ações previstas no PAEBM e das ações das autoridades públicas competentes, **o empreendedor é obrigado a alertar a população potencialmente afetada na ZAS, de forma rápida e eficaz**, u lizando os sistemas de alerta e de avisos constantes no PAEBM.

§ 1º A forma rápida e eficaz a que se refere o caput, compreende, mas não se limita, à instalação de sirenes nas áreas afetadas pela inundação, devendo **estar integrada à estrutura de monitoramento e alerta da barragem de mineração** (grifos nossos).

Observa-se que diferentemente do preconizado pelo órgão fiscalizador minerário, que em caso de emergência de Nível 3, o alerta à população que se encontrava na ZAS deveria ter sido realizado de forma rápida e eficaz e que **o sistema de alerta através de sirenes deveria estar integrado à estrutura de monitoramento e alerta da barragem**. A Vale definiu no PAEBM apresentado que o alerta em caso de emergência somente seria acionado após análise da situação pelo CECOM e, para que isso ocorresse, alguém teria de comunicar uma possível situação de emergência a este Centro de Comando. Ou seja, **o acionamento das sirenes de alerta ou qualquer outra forma de comunicação às pessoas que estavam na ZAS não seria**

realizado de forma automática ou mesmo integrada à estrutura de monitoramento e alerta da barragem, mas tão somente após o CECOM avaliar um comunicado de possível emergência. Ressalta-se ainda, que o CECOM da empresa está localizado em uma outra unidade - não estava na mina Córrego do Feijão, e sim na mina de Águas Claras – unidade MAC.

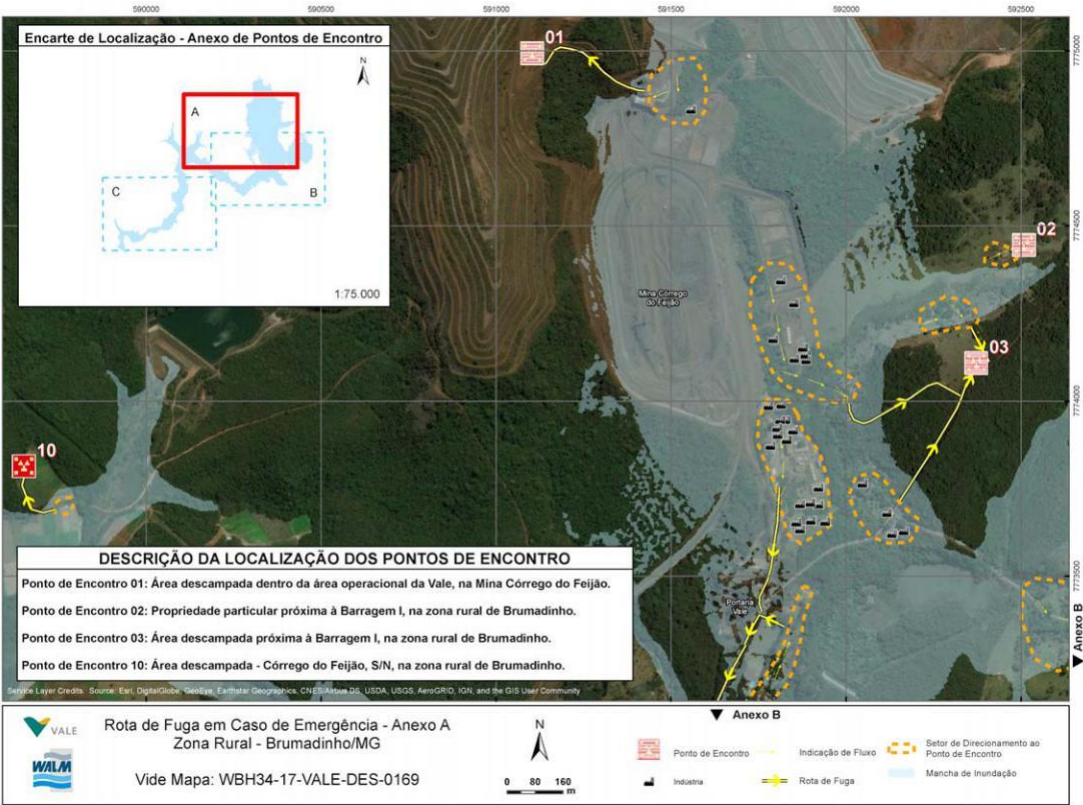
2.2.8. Síntese do estudo de inundação

Seguindo a análise do PAEBM apresentado, o item 10 do documento faz uma Síntese do Estudo de Inundação em caso de rompimento da barragem. Deste tópico destacamos a abrangência da mancha de inundação em caso de rompimento da B I, conforme consta das páginas 38 e 39 “o território para a propagação da onda de ruptura, a jusante da Barragem I é composto por diversos usos e coberturas” e afirma que haverá interferência da onda nos seguintes locais:

- Área operacional da Mina Córrego do Feijão, nos primeiros 2,0 km a jusante da barragem;
- Vários pontos da Linha Férrea Ramal Córrego do Feijão pertencente à MRS;
- Povoado de Córrego do Feijão a aproximadamente 2,04 km da barragem;
- Bairro Parque da Cachoeira;
- Vários pontos da Linha Férrea Variante do Paraopeba pertencente à MRS, a partir de 12,1 km de distância da barragem;
- Zona urbana de Brumadinho, a partir de 14,1 km de distância da barragem;
- Vários pontos da Rodovia MG-040, a partir de 15,9 km de distância da barragem;
- Zona urbana de Mário Campos, a partir de 29,6 km de distância da barragem;
- Zona urbana de Belo Horizonte, a partir de 34,0 km de distância da barragem;
- Zona urbana de São Joaquim de Bicas, a aproximadamente 43,6 km de distância da barragem;
- Ponte da Rodovia BR-381, a aproximadamente 44,1 km de distância da barragem;
- Ponte da Rodovia BR-262, a 54,5 km de distância da barragem.
- Rodovia MG-050, a partir de 60,0 km de distância da barragem;
- Linha férrea Graças de Minas-Calafate, pertencente à Ferrovia Centro-Atlântica, a partir de 60,0 km de distância da barragem.

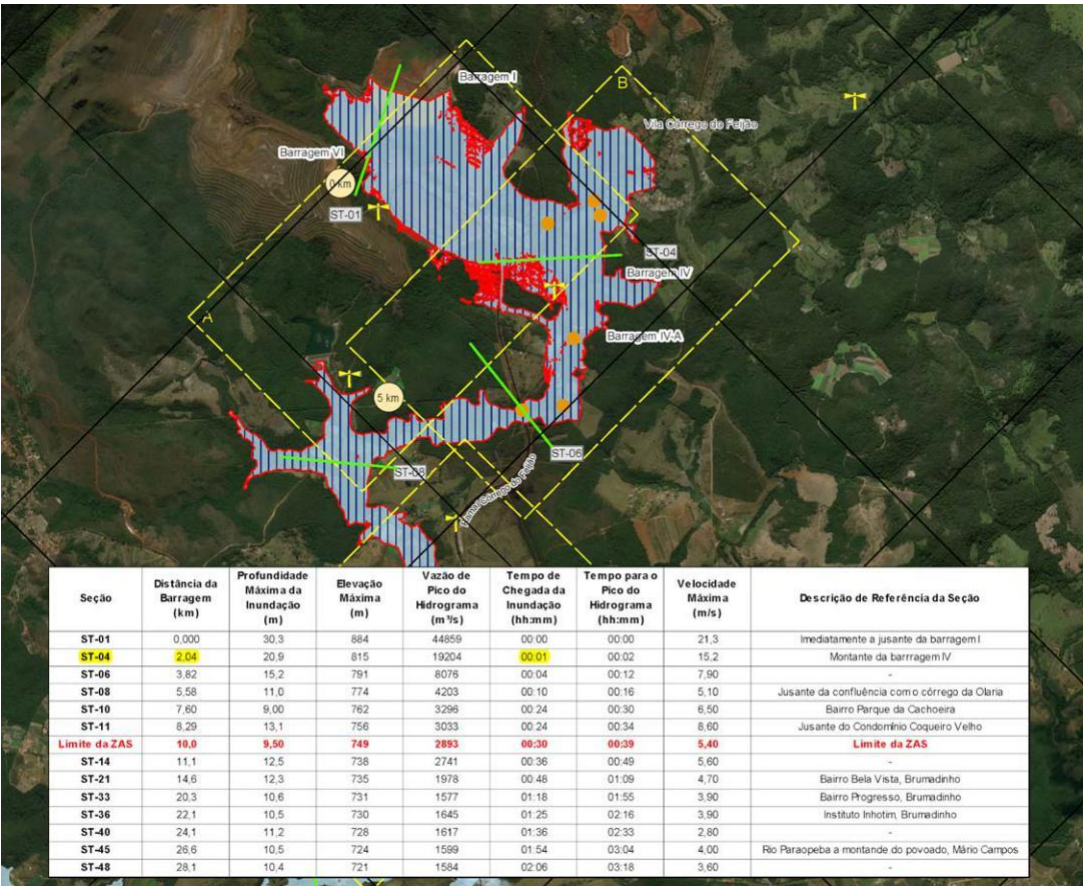
A figura 167 e a figura 168 mostram, respectivamente, as rotas de fuga e a parte da mancha de inundação, essa última com os tempos de chegada da onda de rejeitos.

Figura 167: Rotas de fuga em caso de emergência - Anexo A



Fonte: PAEBM - Documento WBH34-17-VALE-DES-0169 - Anexo A

Figura 168: Detalhe da zona de inundação e tempo de chegada da onda



Fonte: PAEBM - Documento WBH34-17-VALE-DES-0169 - Revisão 0

Considerações da Auditoria Fiscal do Trabalho

Com base no mapa de rotas de fuga em caso de emergência - anexo A (documento WBH-34-17-VALE-DES-0169 - ANEXO A) pode-se calcular que as pessoas que se encontravam na região do refeitório ou nas regiões dos escritórios, seguindo essas rotas, teriam de percorrer até aproximadamente 760 metros para saírem da região da mancha de inundação. Conforme o mapa da Envoltória Máxima de Inundação da Barragem I - Cenário de ruptura dia chuvoso (documento WBH34-17-VALE-DES-0169), a onda de rejeitos demoraria um minuto para atingir a Seção ST-4, localizada a jusante dessas estruturas. Dessa maneira pode-se concluir que mesmo um atleta olímpico recordista dos 800 m (que percorre essa distância em cerca de 1' 40"), que começasse a correr no instante do início da ruptura, não conseguiria escapar da lama. **Assim, mesmo em cenário previsto pela Vale, sabia-se ser impossível escapar da onda de rejeitos a partir dos postos de trabalho e áreas de vivência a ngidos. Não obstante, não foi tomada nenhuma medida no sentido de realocação desses postos e estruturas.**

2.3. Capacitação do PAEBM

2.3.1. Treinamento externo

O treinamento externo foi realizado pela empresa Amplo Engenharia e Gestão de Projetos e apresentado para aprovação da Vale em 06/08/2018. Este treinamento envolve a população fora dos portões da Mina.

No dia 16 de julho de 2018, foi realizado o Simulado Externo de Emergência nas comunidades Córrego do Feijão e Vila Ferteco. De acordo com a empresa, compareceram 109 moradores e 100 representantes das instituições organizadoras. **Entretanto, a lista de presença apresentada no programa (figura 169) tem o título “Simulado de Emergência Vale – Vargem da Lua – São Gonçalo do Rio Acima”. Ou seja, não está claro se apenas o cabeçalho está incorreto ou se os nomes e assinaturas dos participantes representam de fato os envolvidos na simulação em Brumadinho.**

Figura 169: Lista de presença do simulado de 16/07/2018

Fonte: Relatório Técnico - Barragem IV - Mina Córrego do Feijão - Simulado Externo de Emergência - Relatório de Avaliação do Simulado em Córrego do Feijão e Vila Ferteco - MG (Documento VALE-GRG PAEBM 2ª FASE 2018 - SIMULADOS, Rev. A, pág. 43) - "GRG 2018_E7-14.3 SIMULADO_AVALIACAO_COR FEIJAO.pdf"

No período da manhã foram instaladas provisoriamente placas sinalizadoras das rotas de fuga, e pontos de encontro e credenciamento dos participantes, dentre outras atividades. O exercício foi realizado, portanto, com placas provisórias, montadas apenas para este evento.

Às 10:02h foram usadas buzinas de gás com cornetas, não sendo utilizado o sistema de sinalização de emergência real.

Após a simulação houve entrevista com uma parcela dos participantes (65 dos 109). O documento concluiu que apenas 52% dos participantes da simulação que foram entrevistados eram moradores das áreas potencialmente afetadas.

Figura 170: Fotos das placas de sinalização das rotas de fuga



Fonte: Relatório Técnico - Barragem IV - Mina Córrego do Feijão - Simulado Externo de Emergência - Relatório de Avaliação do Simulado em Córrego do Feijão e Vila Ferteco - MG (Documento VALE-GRG PAEBM 2ª FASE 2018 - SIMULADOS, Rev. A, pág. 17) - "GRG 2018_E7-14.3 SIMULADO_AVALIACAO_COR FEIJAO.pdf"

Na página 27 do documento, a empresa relata que **algumas pessoas não ouviram o sinal sonoro**. Além disso, houve relatos de moradores que “**parte das pessoas que par ciparam do simulado não sabem que vivem numa área de risco**”. Não há evidências que depois dessa constatação houve comunicação ampla as pessoas potencialmente afetadas corrigindo a falha detectada.

Figura 171: Cenário u lizado na simulação

CENÁRIO 1	
Ameaça	Rompimento da Barragem Menezes I
Risco	Percolação não controlada de água no maciço ou na fundação (<i>Piping</i>).
Hipótese Acidental	Rompimento da Barragem Menezes I com inundação das áreas indicadas no mapa abaixo que não afetará interrupção dos serviços essenciais
CENÁRIO*	
- Comprometimento das residências localizadas nas Zonas de Auto Salvamento (ZAS). 126 pessoas estão nas ZAS. Necessidade de evacuação imediata. - Não haverá comprometimento do abastecimento de água dos municípios a jusante. - Não haverá comprometimento do fornecimento de energia dos municípios próximos. - Não Haverá interrupção de rodovias. - Haverá o comprometimento do comércio local. - As vias urbanas e vicinais do município poderão ser comprometidas.	
Indicação dos danos e prejuízos estimados	
Prejuízo econômico privado:	Contextualizados no Cenário*

Fonte: Relatório Técnico - Barragem IV - Mina Córrego do Feijão - Simulado Externo de Emergência - Relatório de Avaliação do Simulado em Córrego do Feijão e Vila Ferteco - MG (Documento VALE-GRG PAEBM 2ª FASE 2018 - SIMULADOS, Rev. A, pág. 7) - “GRG 2018_E7-14.3 SIMULADO_AVALIACAO_COR FEIJAO.pdf”

Conforme apontado na figura 171, o único cenário de emergência avaliado foi o **Rompimento da barragem Menezes 1**. Em tal cenário o número de moradores da ZAS (Zona de Autossalvamento) é indicado como apenas 126 pessoas. Nele não haveria comprometo do abastecimento de água e energia dos municípios a jusante, não haveria interrupção de rodovias. Apenas o comércio local seria afetado e vias vicinais e urbanas do município poderiam ser atingidas.

Cabe salientar que o mapa de inundação previsto para a Barragem Menezes I é substancialmente menor que o previsto para a Barragem I.

Não temos nenhuma evidência que foi realizado simulado externo considerando os cenários de rompimento da BI previstos no PAEBM.

Em resumo, observa-se algumas falhas tanto no simulado como na apresentação dos documentos comprobatórios:

- o simulado apresentado não considerava o rompimento da barragem B I e sim da barragem Menezes I;
- foram u lizadas placas provisórias e não há evidências que após o simulado placas definitivas tenham sido instaladas;
- não foram u lizados os sinais sonoros reais (sirenes)
- ficou evidenciado que parte da população não sabia que vivia em uma área de risco.

2.3.2. Treinamento interno

O treinamento interno envolvendo os trabalhadores foi realizado em duas etapas: uma teórica, que contou com a participação de todos os empregados da Vale, e uma simulação prática de rompimento.

A Vale apresentou a Auditoria Fiscal do Trabalho apenas a lista de presença do treinamento teórico ocorrido de 01 a 22/10/2018.

O simulado ocorreu às 15:30h do dia 23/10/2018 e contou apenas com os empregados que laboravam em turnos que abrangiam este horário. Os empregados do turno noturno, por exemplo, não participaram deste simulado.

Além disso, analisando a documentação apresentada, não encontramos nenhuma comprovação de treinamento de empregados das mais de 90 empresas terceirizadas que prestavam serviços dentro do complexo da mina do Córrego do Feijão. A Vale declarou em documento que não é possível apresentar lista de presença de terceiros, pois a mesma perdeu-se no acidente, conforme figura 172.

Figura 172: Declaração de não localização de documentos

Ao Juízo da 5ª Vara do Trabalho de Betim/MG

DECLARAÇÃO DE NÃO LOCALIZAÇÃO DE DOCUMENTOS

Vale S.A., sociedade anônima aberta, inscrita no CNPJ nº 33592510/0001-54, com sede no Rio de Janeiro, na praia de Botafogo, nº 186, Torre Oscar Niemeyer, Botafogo, CEP: 22350-145, por seu Coordenador do PAEBM, Marco Antônio Conegundes (716.986.556-49), assim expõe.

Em decorrência do rompimento da barragem I do Córrego de Feijão, localizada no município de Brumadinho, as listas de treinamento em meio físico referentes PAEBM – Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, dos últimos 12(doze) meses, encontravam-se no referido local o qual foi atingido, e que também não há registros dessas listas em sistemas ou meio eletrônico, o que impossibilita a sua apresentação perante essa autoridade fiscalizada.

Diante desse contexto, declara a Vale S.A a impossibilidade de apresentar fisicamente à “Lista de presença de terceiros no treinamento de PAEBM” dos últimos 12(doze) meses, nos termos acima.

Nova Lima, 08 de Fevereiro de 2019.


Marco Antônio Conegundes
Coordenador PAEBM

Contudo, alguns trabalhadores de empresas terceirizadas afirmaram, em entrevista a esta Auditoria do Trabalho, que não receberam nenhum treinamento relativo a PAEBM, entre estes citamos o sondador, Carlos Élcio Mendes Nogueira, empregado da Geocontrole (empresa que no dia do acidente realizava sondagens na Barragem I). Em 7 de fevereiro de 2019, o trabalhador afirmou a essa Auditoria que que na barragem B I teve treinamento de segurança RAC 2, RAC 3, RAC 7, contemplando principalmente operação de perfuratriz, direção de veículos, mas que **não contemplavam procedimentos em situações de emergência na barragem, sirenes nem rotas de fuga.**

A mesma afirmação foi feita por outros trabalhadores nos depoimentos a Polícia Civil do estado de Minas Gerais, entre estes relacionamos o empregado da empresa Alípio Cândido Filho, CNPJ 20.233.847/0001-23 (Nome fantasia: Palmira), Waldison Gomes da Silva, motorista de caminhão tanque. Sua oitiva está transcrita no Termo de Declaração de 30/01/2019, nº PCnet: 2019-090-002771-001-007977976-69. Nele o declarante quando indagado se a empresa Vale havia dado algum treinamento para salvamento no caso de rompimento de barragem, respondeu: “para nós terceirizados NÃO”.

E ainda, quando indagado se tinha conhecimento sobre algum ponto de rota de fuga no caso de rompimento de barragem, respondeu “não”.

Cabe salientar que dos 334 empregados lesionados ou mortos dentro dos limites da Mina, 185 (55%) eram trabalhadores terceirizados.

Por fim, pelo que a documentação apresenta, o simulado foi realizado com cornetas de gás e não com o sistema real de alarme para emergências, o que contribuiu para a falha do sistema de comunicação no dia do acidente, tendo em vista que o mesmo simplesmente não foi acionado.

Capítulo 3: Risco Grave e Iminente

Este capítulo dedica-se a esclarecer porque a Barragem I esteve por alguns anos em uma situação de risco grave e iminente, começando pela definição do que é risco grave e iminente.

Fundindo-se as mais variadas proposições sobre o tema, no contexto desta análise, *Risco* é entendido como a probabilidade de um evento, relacionado ao trabalho, produzir consequências negativas para a saúde e/ou a integridade física de um trabalhador⁵².

Avançando agora até o primeiro adjetivo a fim de se buscar a definição que nos interessa para a expressão Risco Grave e Iminente, podemos estabelecer que a gravidade de um risco está imediatamente ligada a severidade de suas consequências. E tal severidade deve contemplar tanto sua intensidade como o seu potencial campo de ação, ou seja, “o quanto” e “em quantos”.

Quanto ao seu caráter de iminência devemos afastar desde já a ideia de uma proximidade temporal determinável e imediata. Esta é uma interpretação demasiadamente simplória do conceito, por ser impossível afirmar precisamente o quão próximo um evento está

⁵² Entre outros o presente na Norma Regulamentadora nº 1 (NR 1) - Disposições Gerais

para acontecer considerando-se apenas sua probabilidade de ocorrer. A iminência, aqui, deve ser entendida como algo possível de ocorrer *a qualquer momento*, se mantidas determinadas condições, restando para seu efetivo acontecimento o surgimento do evento desencadeador.

No acidente em análise, em função do estado eloquente de fragilidade daquela barragem, seu rompimento poderia acontecer em minutos, semanas ou anos.

Pois bem, após estruturar conceitualmente o Risco Grave e Iminente ligado ao acidente de trabalho, cabe ainda o exame da definição legal constante na Norma Regulamentadora nº 3 do Ministério do Trabalho e Emprego (Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978).

Define ela em seu item 3.1.1: *considera-se grave e iminente risco toda condição ou situação de trabalho que possa causar acidente ou doença relacionada ao trabalho com lesão grave à integridade física do trabalhador.*

Este item de norma conceitua o princípio mais importante que rege as emergências ligadas à segurança do trabalho e deve ser acionado sempre que todo o resto do ordenamento jurídico relacionado à prevenção tenha falhado.

Pelo exposto e em razão dos documentos analisados bem como as entrevistas realizadas, constatamos evidências que nos levam a firmar o entendimento de que a B I deveria estar enquadrada, desde 2015, em situação de risco grave e iminente, como uma estrutura em nível de emergência.

Conforme já analisado de forma detalhada nas Partes II e III deste relatório, lembramos os seguintes momentos e fatos associados a eles que ensejariam a adoção de medidas emergenciais para garantir a integridade física de trabalhadores e de terceiros:

1º Momento: Emissão da “Análise da probabilidade de ruptura da Barragem I”, elaborado pela Pimenta de Ávila em dezembro de 2015 (documento RD-654-RL-41070-00-R0).

Fato associado ao momento que caracteriza situação de emergência: Citação expressa no documento de FS para condição não drenada de pico de 1,2, sem o cálculo de FS para condição não drenada pós-pico.

Enquadramento legal: Item II da Portaria Nº526/2013 do DNPM, em vigor à época: Considera-se iniciada uma situação de emergência quando ocorrer qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura, conforme art. 16, III, da citada portaria.

2º Momento: Emissão do relatório em 26/07/2016 pela empresa Geoconsultoria (documento VL47MC01-R0 - Estudo de Liquefação Estática – Barragem B I – Córrego do Feijão).

Fato associado ao momento que caracteriza situação de emergência: Citação expressa no documento de FS para condição não drenada de pico abaixo de 1,0.

Enquadramento legal: Item II da Portaria Nº 526/2013 do DNPM, em vigor à época: Considera-se iniciada uma situação de emergência quando ocorrer qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura, em nível 3, conforme art. 16, III, da citada portaria.

3º Momento: Emissão do RISR em 09/2018 pela empresa TÜV SÜD, utilizado como referência para a emissão do Laudo de Estabilidade da Barragem B I perante os órgãos públicos.

Fato associado ao momento que caracteriza situação de emergência: A empresa consultora obtém um FS para a condição não drenada de 1,09. Surpreendentemente adota como limite do FS para condição não drenada o valor de 1,05 ao invés do preconizado por Olson (op. cit.) e pelo painel de especialistas da Vale, que determinam a adoção de FS = 1,3. Caso fosse adotado o valor correto do FS para a condição não drenada a estrutura não atenderia a condição de estabilidade, necessitando de intervenção corretiva.

Enquadramento legal: Item II da Portaria nº 70.389/2017 do DNPM, em vigor à época – Considera-se iniciada uma situação de emergência quando ocorrer qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura, em nível 3, conforme art. 37, III, da citada portaria.

Parte V:

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 e agravam suas consequências, cuja origem pode ser explicada por decisões técnico-organizacionais tomadas ao longo da história do sistema.

A susceptibilidade dos rejeitos armazenados na B I a liquefação, a situação não drenada do barramento e a linha freática alta levaram-na à ruptura em 25/01/2019.

A linha freática alta, que atravessava alguns diques de alteamento e o dique inicial, era a principal preocupação da Vale e de seus consultores, pois impactava diretamente na segurança do barramento. Contudo, mesmo não sendo a solução que colocaria, em pequeno espaço de tempo, a barragem em condição de estabilidade, a Vale resolveu instalar Drenos Horizontais Profundos (DHP) para o rebaixamento da linha freática. Ação esta que foi paralisada em junho de 2018, pois sua execução causou um fraturamento hidráulico no dique inicial. Após este evento, a Vale não adotou outras medidas que pudessem efetivamente deixar a barragem mais segura.

O processo de liquefação da B I teve como causas prováveis: 1- a instabilização local por *piping* derivado do fraturamento hidráulico ocorrido em junho de 2018 durante perfuração do 15º DHP; 2- a realização de perfurações verticais úmidas no barramento.

Entretanto, consideramos que vários fatores contribuíram ou podem ter contribuído, em maior ou menor grau, para a ruptura da B I e suas consequências, conforme listamos a seguir.

Auscultação deficiente

Os parâmetros utilizados para a construção da Carta de Risco consideravam a operação da barragem na condição drenada, ou seja, sem saturação do barramento. Entretanto, a linha freática estava alta, sem a adequada dissipação da poropressão. Acrescido a este fato, a drenagem insuficiente gerava saturação em parte do barramento, o que pode ser evidenciado pela ocorrência de surgências, consistente com a condição não drenada. Por este motivo, os resultados das leituras da instrumentação, quando comparados com os níveis de segurança da Carta de Risco não sinalizavam a existência de saturação da barragem, tampouco a susceptibilidade iminente da liquefação.

Ademais, vários instrumentos de auscultação foram instalados na barragem sem a correspondente atualização na Carta de Riscos.

Além disso, os inclinômetros não apresentavam comprimentos suficientes e não estavam instalados adequadamente em camada indelocável da fundação. Neste sentido, eventuais deslocamentos do barramento poderiam não ser identificados por estes instrumentos. Por este motivo, os dados correspondentes não eram interpretados.

Destaca-se que não foram apresentados relatórios de leitura dos instrumentos relativos a Janeiro de 2019, confirmando a ausência de monitoramento neste mês.

Ressalta-se também que, desde sua instalação e especialmente a partir de novembro de 2018, o radar indicava movimentações significativas no barramento que não foram devidamente consideradas.

Vemos, portanto, que não havia monitoramento efetivo da percolação da água, nem da movimentação do lençol freático e tampouco da movimentação do maciço.

Distorções no cálculo dos Fatores de Segurança

Apesar da existência de Declarações de Condição de Estabilidade (DCE) formais para a barragem B I, estas só puderam ser emitidas porque alguns parâmetros para cálculo e interpretação dos Fatores de Segurança para a condição não drenada da barragem foram considerados ou desprezados de acordo com a conveniência.

De 2016 a março de 2018, ensaios de solo não recomendados, que propiciavam razões de resistência fora das previstas na teoria adotada, e que dessa forma geraram fatores de segurança inflados, foram empregados em detrimento de ensaios mais conservadores.

Após março de 2018, quando finalmente foram utilizados os parâmetros mais conservadores e utilizados para cálculo do fator de segurança, o resultado encontrado ($FS=1,09$) foi bem menor que o mínimo recomendado pela teoria prevalente ($FS=1,3$), e definido pelo Painel de Especialistas (PIESEM) reunido pela Vale em 2017, em uso até então pela própria empresa emissora da declaração quando da auditoria de outras barragens da mineradora.

Então, amparada pela ausência de normas técnicas que preconizassem fator de segurança mínimo para o modo de falha de liquefação, e citando um artigo desconhecido pelos profissionais do meio entrevistados pela Auditoria Fiscal, passou a adotar como mínimo aceitável um Fator de Segurança de 1,05, apenas marginalmente superior ao unitário, considerando ser possível controlar plenamente a ocorrência de gatilho, que julgaram ser de baixa probabilidade. Assim emitiram-se uma Declaração de Condição de Estabilidade (DCE) condicionada à não ocorrência de situações (algumas delas não controláveis, diga-se de passagem) que pudessem provocar um gatilho.

Ressaltamos que as DCE são assinadas não só pelos responsáveis por sua elaboração como também pelo representante legal da contratante. Cabe destacar que a assinatura da contratante nas declarações não se trata de um mero recibo, mas de uma co-assinatura do documento, respondendo ambos pela veracidade das informações ali contidas. Salientamos ainda que a Vale, uma das maiores mineradoras do mundo, possui um corpo geotécnico suficientemente qualificado e capaz de criar os métodos e parâmetros utilizados para emissão desses documentos.

Por fim, cabe ainda destacar que com base no art. 4º, III, da lei nº 12.334, *o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garantá-la.*

Geologia local desconhecida

Apesar de ter realizado ensaios geotécnicos de campo em 2005, 2016 e 2018, a Vale, depois de mais de 17 anos da aquisição da Mina do Córrego do Feijão junto à Ferteco Mineração, ainda não conhecia por completo a fundação na qual se apoiava o dique inicial da B I.

Somente em 22/01/2019, três dias antes do rompimento, a TÜV SÜD apontou, baseado em ensaios de campo realizados em 2018, nova caracterização para os solos da fundação da barragem, bem diferente daquela até então utilizada pelas empresas que calculavam o fator de segurança de estabilidade da B I.

Além disso, junto ao pé do dique inicial, existia uma camada de 4 a 6 metros de talus (canga laterítica), isto é, um solo transportado que não era considerado nos cálculos do fator de segurança para estabilidade da barragem. Logo, os fatores de segurança de estabilidade da B I, até então apresentados nos vários relatórios contratados junto às empresas de auditoria, não eram confiáveis, podendo ser estes ainda menores que os calculados até então.

Operação irregular

O lançamento de rejeitos ocorreu sem que a largura de praia mínima de 150 m fosse respeitada, pelo menos até meados de 2015. Camadas de materiais finos que foram lançadas próximo aos diques prejudicaram a drenagem da água e contribuíram para a formação de lençóis suspensos, que por sua vez favoreceram a elevação da linha freática. A água permaneceu assim junto aos diques de alteamento, saturando-os e contribuindo para o processo de liquefação que ocorreu em 25/01/2019.

Sistema de drenagem insuficiente e mal conservado

Não havia sistema de drenagem interna no dique de par da B I. Apenas a partir do 4º alteamento (cota de pé igual a 898,00m) é que se comprova a existência de tal drenagem. A linha freática dentro do dique inicial apresentava-se quase quatro vezes maior que a máxima altura definida no projeto original.

A drenagem superficial da B I foi mal mantida pela empresa, o que se evidencia pela presença de trincas, assoreamento e empoçamento de água. Os problemas eram recorrentes ano após ano. Toda água que empoça em uma canaleta ou canal, caso estes apresentem danos no concreto, penetra no barramento. Quando as estruturas citadas estão assoreadas, a água pode transbordar e também penetrar nos diques da barragem.

Não foi possível concluir que tenha ocorrido a rejeição da água, que se acumulava na parte posterior do reservatório, advinda de uma nascente. Apesar de terem sido instalados um pequeno dique metálico junto à nascente de água e uma bomba dentro do pequeno lago que se formava já dentro da bacia de rejeitos, não foi possível confirmar a efetiva instalação de um *sump* cuja construção havia sido indicada pela empresa TÜV SÜD em 2018, nem a instalação de uma segunda bomba.

Também em relação ao sistema extravasor, notou-se a conservação precária das estruturas. A galeria de fundo estava muito assoreada e apresentava pontos de infiltração no

teto. A laje de saída do sistema extravasor também estava assoreada e com erosão a jusante. Por fim, a bacia de dissipação da B I para a B VI estava tomada pela vegetação.

Demora no deplecionamento efetivo da linha freática

A Vale necessitava rebaixar a linha freática da B I para aumento do fator de segurança. Apesar de terem sido oferecidas várias alternativas pela consultoria Potamos para incrementação da segurança da B I no fim de 2017, a Vale optou pela execução dos DHP, alternativa que não colocava a barragem em condições satisfatórias de segurança a curto prazo. O pretendido objetivo da Vale em descomissionar a barragem por meio da remineração do rejeito pode ser uma das razões a explicar a não adoção de medidas mitigadoras dos problemas existentes no barramento que pudessem dificultar ou postergar sua consecução.

Após a instalação de menos da metade dos DHP planejados pela Vale, a solução foi abortada em junho de 2018 em razão de fratura hidráulica ocorrida no dique inicial da B I. Os Gerentes e Diretores Regionais da Vale tiveram conhecimento da fratura hidráulica e da paralisação da execução dos DHP. Contudo, até janeiro de 2019, nenhuma outra solução foi efetivamente implementada pela empresa para rebaixamento da linha freática.

Existência de anomalias recorrentes

Constatamos por meio da análise das Fichas de Inspeção Regular (FIR), Relatórios de Inspeção de Segurança Regular (RISR) e Relatórios de Anomalias, que muitas não-conformidades eram corriqueiras na B I, o que demonstra a falta de cuidado com a adequada conservação da barragem.

De forma resumida, de janeiro de 2015 a janeiro de 2019, 90% das FIR mostravam problemas com a drenagem superficial; aproximadamente 53% delas indicavam presença de vegetação alta ou arbustiva em alguma região da barragem; cerca de 58% relatavam a presença de animais, com destaque para a grande quantidade de bovinos; em 45% delas eram relatadas a existência de recalques, deformações, trincas e/ou pontos de erosão nos taludes do barramento.

Ficou evidenciada a falta de cuidado também em sua operação. Por exemplo, em 2015, 79% das inspeções informaram problemas com o lançamento de rejeitos.

Por fim, durante 2018, em apenas dois meses não houve relato de anomalias referentes a surgências e/ou umidade excessiva nos taludes de jusante, demonstrando que a linha freática se mantinha elevada com consequente saturação do barramento.

Falhas em planos de emergência

Constatamos que a Vale não possuía um Plano de Emergência (PE) específico para a Mina Córrego do Feijão e por consequência, os riscos maiores existentes na Mina não foram avaliados em sua completude.

Já quanto a análise do PAEBM da B I, identificamos várias irregularidades, sendo a primeira o não acionamento do Plano quando a B I esteve por diversas vezes em situações de emergência, situações essas devidamente demonstradas nesse relatório.

Outra irregularidade encontrada foi em relação a falta de alerta à população que se encontrava na ZAS, que deveria ter sido realizada de forma rápida e eficaz. O sistema de alerta por meio de sirenes deveria estar integrado à estrutura de monitoramento e alerta da barragem. Conforme demonstramos neste relatório, as sirenes não foram acionadas quando a B I se rompeu.

Por último, demonstramos que era de conhecimento da Vale que as pessoas que se encontravam na região do refeitório ou nas regiões dos escritórios não teriam chance de se salvar, mesmo com acionamento de alerta de emergência, no caso de rompimento da B I, uma vez que o tempo para se percorrer a rota de fuga até sair da área delimitada pela mancha de inundação era superior ao tempo de chegada da lama de rejeitos nesses locais. Mesmo tendo conhecimento dessa situação, a empresa não tomou uma atitude no sentido de realocação desses postos e estruturas.

Gestão de segurança e saúde no trabalho precária

Nossa análise permite concluir que não existia uma cultura de segurança efetivamente disseminada na Mina.

O Programa de Gerenciamento de Riscos, PGR, exigido pela NR-22, tratava principalmente de questões teóricas. Não havia menção sobre os ambientes de trabalho, muito menos os riscos encontrados e as medidas de controle implantadas e programadas, a exemplo das metas, cronograma e prioridades, que também não eram detalhados adequadamente. O programa não aborda assuntos relacionados às barragens, em especial a B I, apesar das muitas intervenções realizadas e outras em andamento no local, que não foram registradas no PGR. A meta apontada no Programa era reduzir acidentes. Mas não se especifica quais os locais com maior risco e número de acidentes na Mina, assim como, o que fazer para se evitar tais ocorridos. Enfim, o Programa não sofria uma análise crítica e concluímos que não foi adequadamente elaborado.

A Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração também não tratava de segurança em barragens. As anomalias que vinham ocorrendo, ou mesmo quaisquer outros assuntos relacionados à barragem B I, sequer eram mencionados nas reuniões.

Além disso, ouvimos de um representante do SESMT (Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho) que seus membros não tinham acesso, tampouco participavam das discussões das questões geotécnicas da Barragem, ainda que estas pudessem ter repercussões na Segurança do Trabalho.

Considerações finais

A análise de um acidente de trabalho tem como finalidade última buscar a compreensão dos fatores que contribuíram, em maior ou menor grau, para a ocorrência do acidente sob análise. Revelados tais fatores, é possível avaliar o que deve ser modificado naquele posto de ambiente laboral, a fim de evitar que novos acidentes daquela natureza possam se repetir. E, quando necessário, implementar até mesmo mudanças legislativas que possam aperfeiçoar o corpo normativo que rege aquela atividade econômica.

Neste sentido, antes mesmo das conclusões dos diversos órgãos que investigam o acidente em Brumadinho e em função da grande comoção gerada, sobretudo pela grande tragédia humanitária que ele provocou, tanto a ANM quanto a Secretaria do Trabalho ampliaram seus ordenamentos que tratam de barragens, com base nos fatores já apurados até então. As mudanças alcançam tanto os aspectos técnicos quanto os organizacionais.

Consideramos tais mudanças satisfatórias, pois observa-se que os novos itens de norma listados a seguir, que foram criados ou aperfeiçoados desde o acidente, se referem exatamente às falhas apontadas ao longo de nosso relatório. Cabe ponderar, contudo, que alguns destes novos itens de norma vieram apenas detalhar mandamentos que já existiam nas normas e que vigiam à época do acidente.

Além disso, por se tratar de estruturas capazes de provocar danos imensos em todos os aspectos, como o rompimento da Barragem I mostrou, é necessário um permanente aperfeiçoamento da legislação.

A seguir trazemos um compilado das principais alterações com base na Resolução DC/ANM nº 13, de 08/08/2019 e na Portaria nº 210, de 11 de abril de 2019, da Secretaria do Trabalho.

- Passou a ser proibida a utilização do método de construção ou alteamento de barragens de mineração denominado "a montante" em todo o território nacional. As atuais barragens a montante têm que ser descaracterizadas dentro de certos prazos estabelecidos pela ANM;
- Está vedada a construção, a manutenção e o funcionamento de instalações destinadas a atividades administrativas, de vivência, de saúde e de recreação localizadas nas áreas à jusante de barragem sujeitas à inundação em caso de rompimento, consideradas tais situações de risco grave e iminente e passíveis de interdição. As atuais precisam ser reedificadas até 12/10/2019;
- O fator de segurança para as análises de estabilidade e estudos de susceptibilidade à liquefação na condição não drenada agora deve ser calculado com base na ABNT NBR 13.028/2017, nas normas internacionais e nas boas práticas de engenharia, sendo vedada para as análises de estabilidade e estudos de susceptibilidade à liquefação na condição não drenada valores inferiores a 1,3 para resistência de pico. Na Portaria 70.389/2017 esse fator ficava a critério da empresa auditora. Além disso, os parâmetros de resistência devem ser obrigatoriamente definidos a partir da análise e interpretação de resultados de ensaios geotécnicos atualizados e representativos, conforme definido pelo projeto, realizados no próprio material constituinte do barramento e do reservatório;
- Para casos em que o fator de segurança, nas condições drenada ou não drenada, esteja momentaneamente abaixo dos valores mínimos estabelecidos pela norma ABNT NBR 13.028/2017 e conforme descrito no caput, fica a barragem de mineração imediatamente interditada e o empreendedor obrigado a suspender o aporte operacional na barragem e a não ficar a ANM por meio do SIGBM, bem como a implementar ações de controle e mitigação

para garantir a segurança da estrutura e avaliar a necessidade de evacuação da área à jusante, até que o fator de segurança retorne aos valores mínimos;

- Barragens com Dano Potencial Associado (DPA) alto devem ter monitoramento de instrumentação (piezômetros, medidor de nível d'água, inclinômetro, etc) em tempo real e integral até 15/12/2020. Antes, na 70.389/2017, era obrigatório apenas para as barragens com DPA alto, mas que também atingissem pessoas e que viesse método construtivo a montante. Agora qualquer barragem com DPA alto precisa ter monitoramento automatizados e em tempo integral de seus instrumentos. Isso aumentou o número de barragens com este tipo de monitoramento;
- Barragens com necessidade de ter Plano de Ação de Emergência (PAEBM) devem contar com sistemas automatizados de acionamento de sirenes instalados fora da mancha de inundação, além dos manuais já existentes;
- Tornou-se obrigatória a apresentação de estudos para redução de aporte de água no reservatório;
- Agora quem assina a Declaração de Condição de Estabilidade junto com o Responsável Técnico é a pessoa física de maior autoridade na hierarquia da empresa. Antes, poderia ser qualquer representante legal da empresa;
- A ANM passou a exigir estudos sísmicos para Barragens de Mineração, tendo por base a norma da ABNT NBR 13.028.

Por fim, ressaltamos que das 270 vítimas fatais do acidente (somatório de mortos e presumidamente mortos), 258 eram trabalhadores em atividade no momento do rompimento. Sob essa perspectiva, essa tragédia, além de humanitária, é também um acidente de trabalho, em suas duas pontas: em sua origem e em suas consequências - colapso de uma estrutura diretamente ligada à exploração da atividade econômica, que pôs fim a vida de centenas de trabalhadores.

Neste contexto, para além do que preconiza a legislação da ANM quanto à segurança de barragens, havia concomitantemente a obrigatoriedade da observação da legislação trabalhista por parte dos responsáveis pela mina. Tal reconhecimento deveria implicar na tomada de medidas a fim de mitigar ou impedir que o rompimento da Barragem B I, ainda que inevitável fosse, se transformasse no pior acidente de trabalho da história do país e um dos maiores do mundo.

Um acidente de trabalho desta magnitude não acontece apenas como o resultado de uma condição, mas uma combinação delas que passa por situações mais complexas envolvendo os aspectos organizacionais de uma empresa e este relatório mostrou como as decisões organizacionais adotadas foram fundamentais para ocorrência do acidente e de suas consequências.

É bastante emblemático, dentre as diversas falhas organizacionais observadas durante a existência da B I, a demora que houve para implementação de outra alternativa para deplecionamento da linha freática e a consequente melhoria do fator de segurança, a partir do momento em que a Vale desistiu dos DHP. Passaram-se mais de sete meses entre a data da fratura hidráulica quando da instalação do 15º DHP e o rompimento da barragem. Mais de um semestre, portanto, sem tomar medidas efetivas para reversão da situação.

Outra falha organizacional absurda foi a manutenção de um centro de atividades administrativas do empreendimento minerário localizado acerca de um quilômetro a jusante da B I, na zona de alagamento.

Cabe destacar que havia previsão clara em diversos estudos encomendados pela Vale que o centro administrativo, o refeitório e oficinas mecânicas seriam atingidos pelos rejeitos em caso de rompimento da barragem, em até sessenta segundos.

Em resumo, a observação meramente formal da legislação do órgão fiscalizatório minerário não elide a obrigação do cumprimento da legislação trabalhista, em especial de seus capítulos que trata de segurança. Portanto, possuir a Declaração de Condição de Estabilidade da barragem não deveria ser a meta final, tampouco poderia ser interpretado como uma salvaguarda que é capaz de imunizar o empreendedor responsável por uma barragem.

Podemos, assim, concluir que, ao menos em relação aos mais de 600 trabalhadores da mina, desde o momento que a empresa teve ciência do nível alarmante de fragilidade da B I, por meio dos vários estudos aos quais seu corpo técnico e diretivo teve acesso, a Vale deveria ter acionado seu plano de emergência, suspenso as atividades nos locais passíveis de serem atingidos no caso de rompimento da barragem e providenciado a imediata retirada dos trabalhadores.

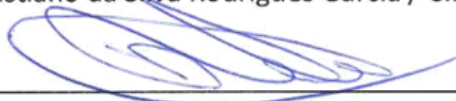
Belo Horizonte / MG, 13 de setembro de 2019.



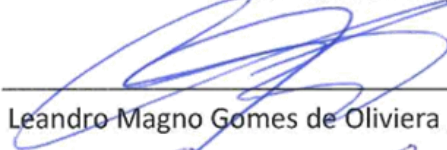
Carolina Tobias Retes Mayr / CIF 35925-4



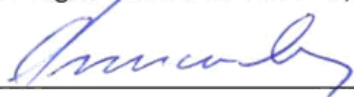
Cristiano da Silva Rodrigues Garcia / CIF 35040-0



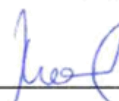
Daniel Dias Rabelo / CIF 35254-3



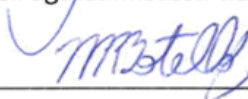
Leandro Magno Gomes de Oliveira / CIF 35628-0



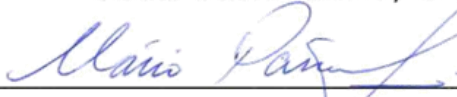
Leonardo Malard Marchese / CIF 30479-4



Mara Queiroga Camisassa de Assis / CIF 35320-5



Marcos Ribeiro Botelho / CIF 35050-8



Mário Parreiras de Faria / CIF 40009-8