

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 2/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

ÍNDICE

ITEM	DESCRIÇÃO	PÁGINA
1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVO	4
3	IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS LEGAIS DO EMPREENDEDOR	4
4	IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE EXTERNA RESPONSÁVEL PELA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA	6
5	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	7
6	DESCRIÇÃO DA BARRAGEM	9
7	ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE MONITORAMENTO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	61
8	ANÁLISE DE DESEMPENHO DA BARRAGEM	63
9	OBSERVAÇÕES DA VISITA EM CAMPO	77
10	ANÁLISE DE ESTABILIDADE	80
11	AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HIDRÁULICA	108
12	CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM	128
13	PAEBM	135
14	CONSIDERAÇÕES FINAIS, RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES	137
15	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
16	ASSINATURA DO RESPONSÁVEL PELA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA	144
	APÊNDICE A – LISTA DE DOCUMENTOS	146
	APÊNDICE B – CHECKLIST DA INSPEÇÃO TÉCNICA	159
	APÊNDICE C – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DA INSPEÇÃO DE CAMPO	160
	APÊNDICE D – DADOS DE INSTRUMENTOS GEOTÉCNICOS	178
	APÊNDICE E – INTERPRETAÇÃO DOS ENSAIOS DE PIEZOCONE (CPTU)	221
	APÊNDICE F – MEDIDAS ADICIONAIS PARA INCREMENTO DA SEGURANÇA DA BARRAGEM	252

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 3/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

1 INTRODUÇÃO

O Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, órgão fiscalizador da segurança das barragens de mineração, publicou, em 17 de maio de 2017, a Portaria DNPM nº 70.389/2017, que especifica uma série de requisitos que devem ser cumpridos pelos empreendedores, proprietários de barragens.

Essa portaria cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece 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, conforme art. 8º, 9º, 10º, 11º e 12º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

A Revisão Periódica de Segurança de Barragem é um estudo que compõe o Plano de Segurança de Barragem e tem o objetivo de diagnosticar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização de dados hidrológicos, as alterações das condições a montante e a jusante do empreendimento, e indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança.

A Lei nº 12.334/2010 e a Portaria nº 70.389/2017 DNPM estabelecem o conteúdo mínimo e nível de detalhamento da Revisão Periódica de Segurança de Barragem que, consiste no Volume IV do Plano de Segurança da Barragem.

Conforme Art. 13, a Revisão Periódica de Segurança de Barragem deverá indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança, compreendendo, para tanto:

- I. O exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção;
- II. O exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;
- III. A análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente;
- IV. A realização de novas análises de estabilidade;
- V. A análise da segurança hidráulica em função das condições atuais de enchimento do reservatório;
- VI. Análise da aderência entre projeto e construção; e
- VII. Revisar a documentação “as is”, a depender do caso.

De modo a atender a legislação, a VALE contratou a TÜV SÜD Bureau para realizar a Revisão Periódica de Segurança da Barragem I, pertencente à Mina Córrego do Feijão, Complexo Paraopeba, no município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 4/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

2 OBJETIVO

O presente documento tem como finalidade apresentar a Revisão Periódica de Segurança da Barragem I, Mina Córrego do Feijão, considerando o conteúdo referenciado no item anterior. Neste contexto, o presente relatório apresentará a descrição da barragem, os procedimentos utilizados, a análise de desempenho, as análises de estabilidade, a avaliação de segurança hidráulica, a classificação da barragem e a análise do PAEBM.

Destaca-se que a referida revisão periódica e a inspeção de campo realizada no dia 03/08/2017 servirá de base para a emissão da Declaração de Condição de Estabilidade (DCE) da barragem.

3 IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS LEGAIS DO EMPREENDEDOR

O empreendedor responsável pelo Complexo Paraopeba, incluindo as barragens que dele fazem parte, é a empresa VALE S.A., portadora do CNPJ nº 33.592.510/0035-01. Na Tabela 3.1 é apresentada a identificação do empreendimento.

Tabela 3.1 – Identificação do empreendimento. Fonte: Doc. [190].

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

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 5/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

3.1 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA BARRAGEM

A listagem dos responsáveis atualizada pela Barragem I foi obtida no Relatório de Auditoria Técnica de Segurança, elaborado em 2018 e apresentado no Doc. [189]. A Tabela 3.2 apresenta a estrutura organizacional da Barragem I.

Tabela 3.2 – Informações sobre a estrutura organizacional. (Doc. [189])

GERENCIA						
Responsabilidade / Função	Nome	Empresa	Cargo	Responsabilidades	CREA	E-mail
Responsável / Representante Legal	Rodrigo Artur Gomes de Melo	VALE	-	Gerente Executivo pelo Complexo Paraopeba	58.773/D	rodrigo.melo@vale.com
Responsável Técnico pela Gestão (ART)	Rodrigo Artur Gomes de Melo	VALE	-	Gerente Executivo pelo Complexo Paraopeba	58.773/D	rodrigo.melo@vale.com
Gerente de Geotecnia	César Grandchamp	VALE	Especialista Técnico	Representante Legal	39.238/D	cesar.grandchamp@vale.com
OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO, MONITORAMENTO E INSPEÇÃO						
Responsável Técnico pela Operação (ART)	Lúcio Medanha	VALE	-	Operação e Manutenção das Barragens - CFJ	105.286/D	lucio.medanha@vale.com
Responsável Técnico pela Manutenção (ART)	Lúcio Medanha	VALE	-	Operação e Manutenção das Barragens - CFJ	105.286/D	lucio.medanha@vale.com
Responsável Técnico pelo Monitoramento e Inspeção (ART)	Cristina Malheiros	VALE	Profissional Geotécnico	Responsável por Inspeção e Monitoramento	107.237/D	cristina.malheiros@vale.com



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS**REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA Córrego Feijão – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº VALE

-

PÁGINA

6/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4**4 IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE EXTERNA RESPONSÁVEL PELA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA**

A identificação da equipe responsável pelo presente relatório está apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Equipe Tuv-Süd responsável pela RPSB.

RESPONSÁVEL PELA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA - Mina de Fábrica							
Nome	Empresa	Cargo	Responsabilidades	CREA	E-mail	Telefone	Celular
Arsenio Negro Jr	TÜV SÜD Bureau	Consultor em Geotecnia	Consultoria Técnica	0600485128/SP	arsenio.negro@tuv-sud.com.br	11-3817-0200	11-99243-7299
Andre Jum Yassuda	TÜV SÜD Bureau	Consultor em Geotecnia	Declaração de Estabilidade	0600716385/SP-MG	andre.yassuda@tuv-sud.com.br	11-3817-0200	11-97151-5123
Makoto Namba	TÜV SÜD Bureau	Coordenador de Projetos	Coordenação	0601080777/SP	makoto.namba@tuv-sud.com.br	11-3817-0226	11-99264-9261
Marlísio O. Cecílio Jr	TÜV SÜD Bureau	Engenheiro Geotécnico Senior	Supervisão Técnica	2506115595/SP	marlisio.cecilio@tuv-sud.com.br	11-3817-0218	11-98105-2831
Ana Paula Toledo Ruiz	TÜV SÜD Bureau	Engenheiro Geotécnico Master	Elaboração Geotecnia	5060495704/SP	apt.ruiz@gmail.com	11-3817-0226	11-98771-9306
Sidnei Ono	TÜV SÜD Bureau	Engenheiro Hidráulico Senior	Elaboração Recursos Hídricos	5062132798/SP	sidnei.ono@gmail.com	11-3817-0244	11-98919-4137
Clarissa Yebra	TÜV SÜD Bureau	Engenheiro Hidráulico Pleno	Elaboração Recursos Hídricos	5063078517/SP	clarissa.yebra@gmail.com	11-3817-0130	11-97624-9233
Hugo Salvoni	TÜV SÜD Bureau	Engenheiro Geotécnico Junior	Elaboração Geotecnia	5069982561/SP	hugo.salvoni@tuv-sud.com.br	11-3817-0206	11-99229-9810

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 7/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

5 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para a elaboração deste estudo a TÜV SÜD Bureau recebeu da VALE arquivos eletrônicos contendo as informações e estudos anteriores existentes sobre as estruturas geotécnicas em análise, tais como: projetos, “como construído”, avaliações de segurança, auditorias técnicas de segurança, históricos de monitoramento, estudos de ruptura hipotética de barragens, análises de riscos, bases topográficas, imageamento das áreas de interesse, etc.

Foram recebidos no total 196 documentos, que foram numerados, listados e são apresentados no Apêndice A. Destes, apenas parte foi utilizada na elaboração desta Revisão Periódica de Segurança de Barragem, conforme indicados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Documentos de Referência Utilizados.

Doc.	Nome/Descrição	Empresa	Data
[14]	Plano de Recuperação de Rejeitos Barragem I	VALE	Mai/2010
[19]	Projeto do Maciço Inicial - Relatório Técnico	Christoph Erb	Ago/1975
[20]	Maciço Inicial - Apresentação dos Resultados	Engesolo	Fev/1976
[21]	Maciço Inicial – Ocorrências de Obra	Engesolo	1976
[22]	Alteamentos da Barragem do Córrego do Feijão	Tecnosan	1980
[25]	Novos Alteamentos da Barragem do Córrego do Feijão - Verificação de Estabilidade	Tecnosan	Ago/1983
[26]	Novos Alteamentos da Barragem do Córrego do Feijão - Relatório do Projeto	Tecnosan	Dez/1983
[28]	Projeto Executivo - 4º Alteamento - Relatório Final	Tecnosolo	1995
[31] e [32]	Projeto Executivo - 5º Alteamento - Relatório Final e Desenhos do Projeto	Tecnosolo	1998
[33]	Projeto Executivo - 5º Alteamento - Análises de Estabilidade e Estudos Hidrológicos e Hidráulicos	Tecnosolo	1998
[35] e [36]	Projeto Executivo - 6º Alteamento - Relatório Final e Desenhos do Projeto	Tecnosolo	2000
[39]	Projeto Executivo - 7º Alteamento - Estudos de Estabilidade	Tecnosolo	2001
[42] e [43]	Projeto Executivo - 8º Alteamento - Relatório Final e Desenhos do Projeto	Tecnosolo	Dez/2003
[45]	Projeto Executivo - 8º Alteamento – Estudos Geotécnicos	Tecnosolo	Dez/2003
[55]	Projeto Executivo– Alteamentos até as cotas 937 e 942m– Relatório Técnico	Geoconsultoria	Dez/2006
[56]	Projeto Executivo– Alteamentos até as cotas 937 e 942m– Desenhos	Geoconsultoria	2006
[69]	Projeto Executivo - 9º Alteamento / El. 937,00 – Drenagem Superficial - Planta	Geoconsultoria	Mai/2007
[70]	Projeto Executivo - 9º Alteamento / El. 937,00 – Drenagem Superficial - Formas e Armadura	Geoconsultoria	Mai/2007

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 8/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

[77]	Laudo Técnico de Segurança de Barragem / 2017	Tractebel	Set/2017
[79]	Estudos de Liquefação – Ensaio de Laboratório – Relatório Técnico	Geoconsultoria	Dez/2016
[113] a [116]	Desenhos do As Built - 7°, 8°, 9° e 10° alteamentos	Tecnosolo, Salum e outros	2001 a 2013
[128]	Cadastro e Leitura de Instrumentos	Vale	Abril/2017
[129]	Análise da probabilidade de ruptura da Barragem I – Relatório Técnico e Apêndices	Pimenta de Ávila	Dez/2015
[130]	Estudo de Cenários (Dam Break) da Barragem I	Pimenta de Ávila	Dez/2015
[144]	Plano de Ação de Emergência (PAEBM)	Walm	Jun/2016
[145]	Imagem Aérea	Vale	Jun/2014
[168]	Plano de Segurança de Barragem	Vale	Abril/2017
[171]	Manual de Operação	Geoconsultoria	Abril/2016
[173]	Níveis de Segurança da Instrumentação	Geoconsultoria	Abril/2016
[174] a [178]	Fichas de Inspeção de Segurança Regular	VALE	Set/2017
[180]	Relatório de Consolidação de Dados	Geoconsultoria	Jul/2016
[181]	As Built” e Avaliação de Segurança da Barragem IV – Texto, Investigações, Ensaio e Desenhos	RDIZ	Abr/2009
[182]	Avaliação de Performance – Parecer Técnico	DAM Eng. & DF Consultoria	2003
[189]	Laudo Técnico de Segurança de Barragem	Tractebel	Mar/2018
[190]	Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração. Barragem I.	Walm	Abr/2018
[191]	Relatório – Desvio água reservatório.doc: Relatório descritivo dos trabalhos de desvio de água do reservatório da Barragem I – CFJ.	VALE	Mai/2018
[192]	PA02-02-DE001_RB.dwg: Deplecionamento da Freática da Barragem I. Rebaixamento com drenos sub-horizontais profundos. Planta, Seção e Detalhe.	VALE	Mai/2018
[193]	PA02-02-DE002_RB.dwg: Deplecionamento da Freática da Barragem I. Rebaixamento com poços. Planta e Seção.	VALE	Mai/2018
[194]	PA2-02-RT01-B-RA-DHPsBI.doc: Projeto Executivo – Relatório Técnico. Barragem I – Deplecionamento da Freática.	VALE	Mai/2018
[195]	Memorial de Instalação RADAR.doc	VALE	Mai/2018
[196]	Recibo de Formalização Processo GAP CFJ.doc:	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento – Governo do Estado de Minas Gerais	Ago/2015

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 9/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

6 DESCRIÇÃO DA BARRAGEM

6.1 LOCALIZAÇÃO

A Barragem I faz parte da Mina Córrego do Feijão, Complexo Paraopeba, no município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais. A Mina Córrego do Feijão pode ser acessada pela rodovia BR-040 partindo de Belo Horizonte, em sentido 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 da mina. As coordenadas UTM da Barragem I são 591.955 E/ 7.775.080 N. A Figura 6.2 apresenta um mapa com a localização da barragem e a Figura 6.2 uma vista aérea da Barragem I data de junho de 2014.

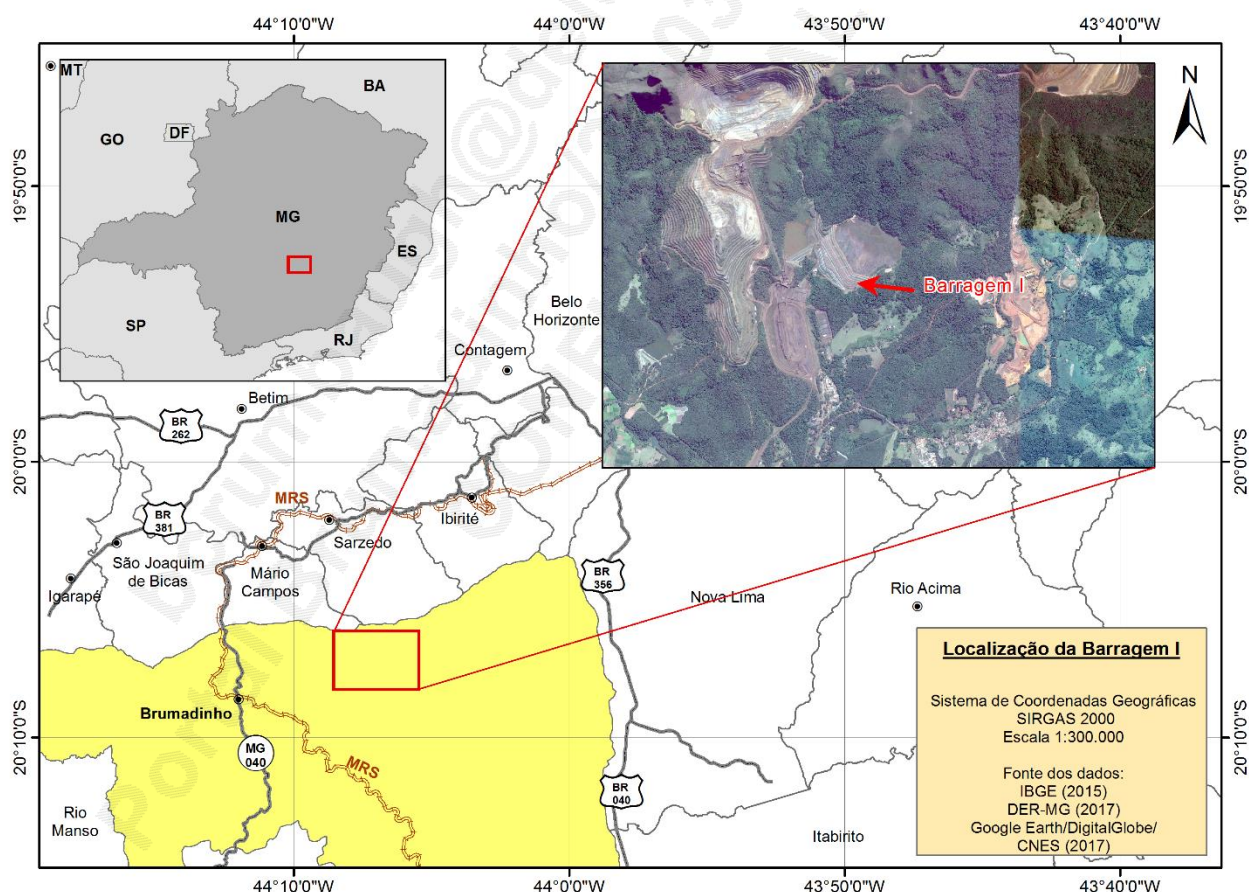


Figura 6.1 – Mapa com a localização da Barragem I.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 10/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Figura 6.2 – Vista aérea da Barragem I. Fonte: (VALE, 2017).

6.2 FINALIDADE

A Barragem I tem como finalidade principal a contenção de rejeitos gerados no processo de beneficiamento da ITM-CFJ lançados através de “*spray-bars*” posicionados ao longo da crista da estrutura. Todavia, seu reservatório também serve 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 atualmente não recebe rejeitos.

6.3 HISTÓRICO

Os alteamentos até o ano de 1995 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 (Doc. [180]), o qual considerou o dique de partida como 1º alteamento. Apesar de confusa, observou-se que essa nomenclatura tem sido adotada pelas diferentes projetistas ao longo do tempo. Este relatório seguirá, conforme mencionado, a nomenclatura histórica.

A Tabela 6.1 apresenta um resumo das características de cada etapa dos alteamentos da Barragem I ao longo dos anos. A Vale S.A adquiriu os direitos minerários e o controle acionário da Ferteco Mineração S.A. em 27/04/2001.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 11/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.1 – Sequenciamento do projeto e construção da Barragem I. Fonte: Doc. [81].

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.

O projeto do maciço inicial da Barragem I foi elaborado pela empresa CHRISTOPH ERB, no ano de 1975, Doc. [19], e construída em 1976. A estrutura foi concebida para armazenamento dos rejeitos produzidos na usina de beneficiamento, ITM - CFJ. 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 de espessura no talude de jusante. Esta etapa inicial teve coroamento da crista na EL. 874,00 m e altura do barramento de 18,00 m.

A Barragem I foi idealizada para possuir alteamentos sucessivos para montante, na medida que o rejeito fosse sendo disposto na estrutura. De acordo com o Doc. [22], seu maciço inicial é constituído de material homogêneo drenante (“minério ultrafino”) com crista na EL. -874,00 m e altura de 18m. Os taludes de montante e jusante foram revestidos por camada de laterita com espessura de 4 m e 1 m, respectivamente. A inclinação dos taludes de montante e jusante é de 1V: 1,5H e 1V: 1,75H, respectivamente. Existe no talude de jusante uma berma na EL .864,0 m com 5,0 m de largura. Não há registro da existência de sistema de drenagem interna.

A segunda projetista da Barragem I (TECNOSAN) projetou 5 alteamentos consecutivos, com 3 m de altura cada, pelo método de montante até a EL. 889,0 m, utilizando o próprio rejeito lançado no reservatório como material de construção, conforme Doc. [22]. 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. Porém,

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 12/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

esse projeto não foi executado na sua integralidade, sendo que o 1º e 2º alteamentos foram divididos em 5 etapas, conforme descritos a seguir:

- Em 1982, alteamento a montante, 3,0 m de altura (EL. 874,0 m a EL. 877,0 m);
- Em 1983, alteamento a montante, 2,0 m de altura (EL. 877,0 m a EL. 879,0 m);
- Em 1984, alteamento a montante, 5,0 m de altura (EL. 879,0 m a EL. 884,0 m);
- Em 1986, alteamento por linha de centro, 5,0 m de altura (EL. 884,0m a EL. 889,0m). 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;
- Em 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).

Não há menções nos documentos históricos da estrutura quais foram os motivos que levaram as mudanças das elevações dos alteamentos ao longo do tempo ou, talvez a realização de um novo projeto. Há menções de uma carta da TECNOSOLO, de 1983, referente à existência de surgências, conforme citado no Doc. [45].

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. 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 motivaram a execução dos alteamentos conforme mencionados.

O 3º alteamento foi projetado pela empresa RIAD CHAMMAS. Os desenhos deste projeto não constam nos documentos disponibilizados pela VALE, somente consta que este alteamento foi executado em duas etapas, a saber:

- Em 1991, alteamento a montante, 3,0 m de altura (EL. 892,0 m a EL. 895,0 m);
- 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 de 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. 875,0m. 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, conforme descrito no Doc. [28]. O sistema de drenagem interna foi composto por filtro horizontal de *sinterfeed* com tubos porosos até sua saída.

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 possuisse uma berma a montante com 4,0 m de

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 13/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

largura, devido à presença de rejeito fofo e saturado ou com alto grau de saturação, conforme Doc. [31]. O aterro projetado era composto por material argilo-siltoso nas primeiras camadas e rejeito da praia nas camadas restantes, com filtro vertical e horizontal constituídos 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 2,0m 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, conforme reportado nos Docs. [35], [39] e [42].

Os 9º e 10º alteamentos foram projetados pela GEOCONSULTORIA na El. 937m 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, conforme consta no Doc. [55]. Diferentemente de como projetado, o dique do 9º alteamento foi constituído de argila compactada e sistema de drenagem interna com tapete prolongado para montante e filtro vertical.

Em 2011 a projetista VOGBR elaborou projeto conceitual para recuperação de finos da Barragem I. O projeto prevê 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 possui concentração de minério suficiente para seu beneficiamento com novas tecnologias de processamento. Destaca-se que esse projeto ainda não foi executado.

6.4 GEOLOGIA

6.4.1 Geologia Regional

As informações a respeito da Geologia Regional, apresentadas a seguir, foram obtidas no Doc. [181], elaborado pela RDIZ Engenharia em 2009.

A Mina de Córrego do Feijão localiza-se ao longo do alinhamento de serra regionalmente conhecido como Serra do Curral, a qual delimita a porção Norte do Quadrilátero Ferrífero.

Geologicamente, o “Quadrilátero Ferrífero” situa-se na borda SW do cráton São Francisco, tendo sofrido, no mínimo, dois eventos deformacionais principais – o primeiro no Proterozóico médio e o segundo no Proterozóico superior (Brasiliano). Desde então, foi cratonizado e, excetuando-se pequena movimentação rúptil no Cretáceo, foram registrados somente intemperismo e erosão.

Regionalmente, o segmento sudoeste da Serra do Curral é constituído por uma espessa sequência litológica do Supergrupo Minas com camadas mergulhando, com ângulos moderados, para noroeste ou sudeste, exibindo uma coluna litoestratigráfica formada da base

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 14/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

para o topo por: quartzitos e filitos do Grupo Caraça, Formação Ferrífera Bandada do Grupo Itabira e metapelitos do Grupo Piracicaba.

A Mina Córrego do Feijão, onde a Barragem I se encontra, está localizada em terreno de domínio de solos de alteração de gnaisses, recobertos por colúvios lateríticos.

6.4.2 Geologia Local

A maior parte do maciço dos diques de alteamento se encontra apoiado sobre os rejeitos depositados no reservatório que, de maneira geral, apresentam-se como materiais silto-arenosos e areno-siltosos não plásticos.

Na região da Barragem I o maciço rochoso é representado por gnaisses bandados, sendo que a área do barramento se encontra capeado por horizonte de material terroso, constituído de solos saprolitos/residual/coluvionar. Estes solos mostram boa capacidade de suporte e permeabilidade baixa, conforme Doc. [14].

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, recobrimdo o horizonte de solo saprolítico mais resistente com número de golpes variando entre 15 e 40 golpes. Fonte: Doc. [129].

6.5 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Os dados referentes às investigações geotécnicas da Barragem I foram obtidos nos relatórios de projeto executivo do maciço inicial da estrutura e nos projetos disponíveis dos alteamentos. Os desenhos indicando a locação das campanhas de investigação geológico-geotécnica não serão apresentando em sua totalidade. Para maiores detalhes os documentos de referência deverão ser consultados.

6.5.1 Barragem Inicial

Para o projeto do maciço inicial da Barragem I foram realizadas investigações geotécnicas, porém não há registros dos tipos de ensaios realizados. Algumas informações constam no relatório, original em alemão, elaborado pela CHRISTOPH ERB em 1975, Doc. [19]. Os parâmetros obtidos para os materiais de construção apresentam-se na Tabela 6.2

Tabela 6.2 – Parâmetros de resistências dos materiais do dique de partida. Fonte: Doc. [19].

Material	Peso Específico (kN/m³)	Ângulo de Atrito (°)	Coesão (kPa)	Permeabilidade (m/s)
Minério Fino	25	35	0	$1,2 \times 10^{-6}$
Laterita	20	29	30	$1,2 \times 10^{-9}$

Durante a construção da estrutura o controle tecnológico foi realizado pela ENGESOLO por meio de investigações em campo e em laboratório, apresentadas nos Docs. [20] e [21].

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 15/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

6.5.2 1º e 2º alteamentos

Para o projeto de alteamento elaborado pela TECNOSAN em 1980, foram executados ensaios para determinação dos parâmetros do rejeito *in situ*. Os ensaios consistiram de: densidade real dos grãos, granulometria completa, adensamento, cisalhamento direto rápido saturado e permeabilidade. A Tabela 6.3 apresenta os resultados dos ensaios de granulometria do rejeito.

Tabela 6.3 – Resultados dos ensaios de granulometria do rejeito. Fonte Doc. [22].

Amostr a	Densidade real dos grãos (g/cm³)	Granulometria					Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)
		Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	
A	4,90	-	7,0	90,0	3,0	-	$3,43 \times 10^{-4}$
B	5,00	-	7,0	85,0	8,0	-	$9,47 \times 10^{-4}$

Foram realizados ensaios de cisalhamento direto em duas amostras de rejeito. Interpretou-se para a envoltória de resistência do rejeito intercepto de coesão nulo e ângulo de atrito igual a 31,5° e 29,5°, para cada uma das amostras ensaiadas. Fonte: Doc. [22].

Em 1983, para o novo projeto de alteamento da TECNOSAN foi executada outra campanha de investigação geotécnica pela PAVISOLO & SOND, composta por investigações em campo em laboratório, conforme reportado no Doc. [26]. Um croquis da localização das sondagens e coleta de amostras (Pontos F1 a F7) está apresentado na Figura 6.3, entretanto sem amarração adequada. Para verificação dos logs de sondagem, o Doc. [25] deverá ser consultado.

Para os ensaios de laboratório foram realizadas coletas de amostras deformadas de rejeito e realizada a determinação do peso específico, umidade, granulometria e índice de vazios máximo e mínimo. A Tabela 6.4 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização e a Figura 6.4 apresenta a curva granulométrica.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 17/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.4 – Resultado dos ensaios de caracterização. Fonte: Doc. [26].

Furo	Peso Específico seco no campo (g/m³)	Índice de Vazios mínimo	Índice de Vazios no campo	Umidade Natural (%)	Densidade dos Grãos (g/m³)	Peso Específico seco mínimo (g/m³)	Peso Específico seco máximo (g/m³)
1	2,361	0,79	1,025	16,1	4,780	2,15	2,675
2	2,329	-	1,020	14,7	4,704	-	-
3	2,481	0,77	0,844	14,4	4,574	2,15	2,579
4	2,388	-	1,096	15,5	4,006	-	-
5	2,359	-	0,901	10,9	4,484	-	-
6	2,402	0,77	0,932	16,6	4,640	2,15	2,614
7	2,380	-	1,011	7,5	4,786	-	-

6.5.3 3º alteamento

O projeto do 3º alteamento foi desenvolvido pela RIAD CHAMMAS entre 1991 e 1993. Não foram disponibilizados documentos referentes a esta etapa de projeto.

6.5.4 4º alteamento

O projeto do 4º alteamento foi desenvolvido pela TECNOSOLO em 1995. Não foram disponibilizados documentos referentes a resultados e interpretações das investigações geotécnicas do projeto deste alteamento.

6.5.5 5º alteamento

O projeto do 5º alteamento foi desenvolvido pela TECNOSOLO em 1998. Segundo Doc. [33], foram realizadas 3 sondagens SPT (SP1, SP2 e SP3), e ensaios geotécnicos para determinação das propriedades do solo. Entretanto, não foram disponibilizados documentos referentes a resultados e interpretações das investigações geotécnicas.

6.5.6 6º alteamento

O projeto do 6º alteamento foi desenvolvido pela TECNOSOLO em 2000. Conforme anexo do Doc. [35], foram realizadas 4 sondagens a percussão (SP-01, SP-02, SP-03 e SP-04) além de ensaios geotécnicos de amostras coletadas nestes furos. Foram realizados ensaios de caracterização, compactação, cisalhamento direto, permeabilidade e compressão triaxial UU.

Na Tabela 6.5 e na Tabela 6.6 apresentam-se os resultados dos ensaios em laboratório realizados nas amostras retiradas da praia, descritas como “minério de ferro fino”.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 18/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.5 – Resultados dos ensaios de caracterização em amostras da praia.
Fonte: Doc. [35].

Furo	Local	Tipo de amostra	Granulometria (%)						LL (%)	LP (%)
			Argila	Silte	Areia			Pedreg.		
					Fina	Média	Grossa			
SP-01	Praia	AD	5	14	76	5	-	-	NP	NP
SP-02	Praia	AD	3	5	68	24	-	-	NP	NP
SP-03	Praia	AD	7	21	72	-	-	-	NP	NP
SP-04	Praia	AD	5	18	72	4	1	-	NP	NP

Tabela 6.6 – Resultados dos ensaios de compactação, cisalhamento, permeabilidade e compressão triaxial em amostras da praia. Fonte: Doc. [35].

Furo	Local	δ (g/cm ³)	Compactação		Cis. Direto		Permeabilidade		Triaxial UU Sat	
			γ_s máx. (g/cm ³)	hót. (%)	c (kPa)	ϕ (°)	H (cm/s)	V (cm/s)	c (kPa)	ϕ (°)
SP-01	Praia	5,070	2,878	11,2						
SP-02	Praia	5,142	2,768	11,3	18	36,6	8,36X10 ⁻⁴	8,60X10 ⁻⁴		
SP-03	Praia	5,006	2,737	12,2						
SP-04	Praia	5,046	2,782	11,4	8	37,2			9	40,6

6.5.7 7º alteamento

O projeto do 7º alteamento foi desenvolvido pela TECNOSOLO em 2001. Segundo Doc. [39] foram realizadas 3 sondagens SPT (SP1, SP2 e SP3) e ensaios geotécnicos para determinação das propriedades do solo desta etapa. A quantidade de ensaios e tipo não foi especificada no relatório e não foram disponibilizados até o momento seus resultados.

6.5.8 8º alteamento

O projeto do 8º alteamento foi desenvolvido pela TECNOSOLO em 2003. Conforme Doc. [45], para este alteamento foi realizada uma compilação de todas as investigações geotécnicas existentes na estrutura na época e disponibilizadas para consultoria, a qual apresentou os resultados. Complementarmente a este estudo foram programadas 4 sondagens a percussão na praia de rejeitos e coleta de 4 amostras, apresentado na Figura 6.5. Os resultados dos ensaios em laboratório realizados nas amostras são apresentados na Tabela 6.7 a Tabela 6.9.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 19/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

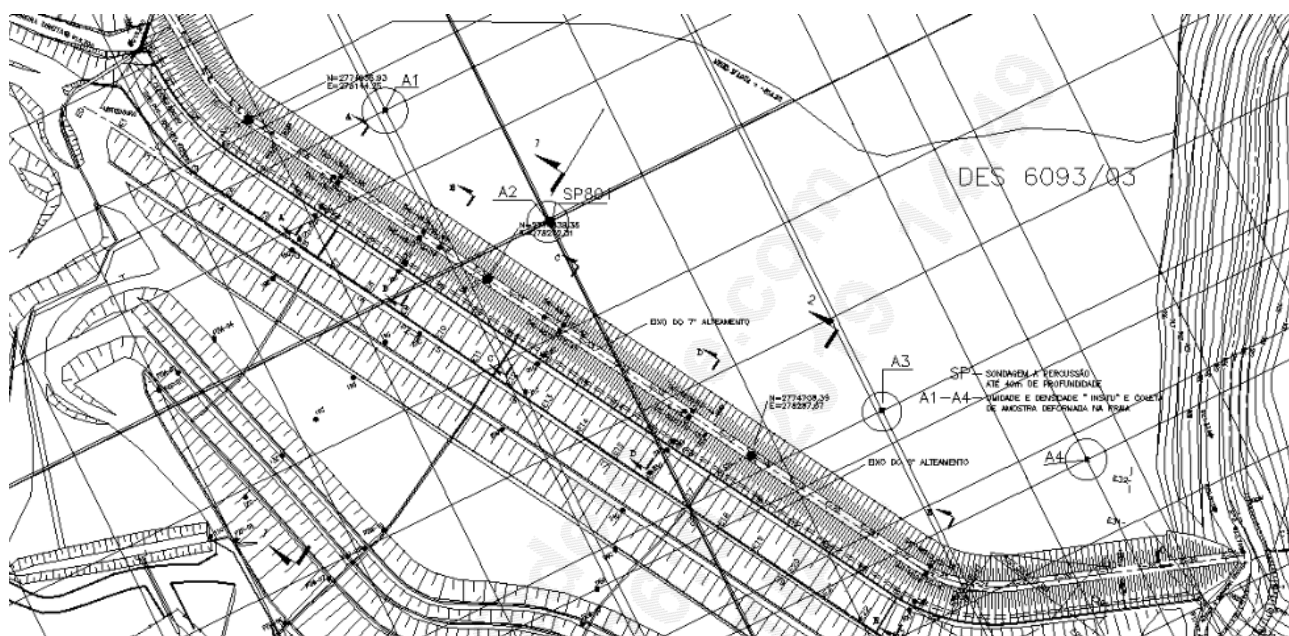


Figura 6.5 – Localização dos Furos de Sondagem A1 a A4 na praia de rejeitos do 7ºalteamento para o projeto do 8º alteamento. Fonte: Doc. [43].

Tabela 6.7 – Ensaio de granulometria e Limites de Atterberg em amostras coletas na praia de rejeitos do 7º alteamento para o projeto do 8º alteamento. Fonte: Doc. [45].

Reg – N° da amostra	Local	Tipo de amostra	GRANULOMETRIA (%)						LL (%)	LP (%)
			Argila	Silte	Areia			Pedreg.		
					Fina	Média	Grossa			
281 – 01	Praia	AD	5	11	78	6	-	-	-	-
282 – 02	Praia	AD	4	2	81	11	2	-	-	-
283 – 03	Praia	AD	4	4	70	21	1	-	-	-
284 - 04	Praia	AD	5	5	83	7	-	-	-	-

Tabela 6.8 – Ensaio de caracterização em amostras coletas na praia de rejeitos do 7ºalteamento para o projeto do 8º alteamento. Fonte: Doc. [45].

Material	Procedência	δ (g/cm³)	γ_{nat} (g/cm³)	Hnat (%)	hot (%)	γ_{PN} (g/cm³)	$\gamma_{smáx}$ (g/cm³)	γ_{smin} (g/cm³)
Rejeito	Reg 281 - 8º alt.	4,610	2,684	3,1	13,6	2,437	2,575	2,203
Rejeito	Reg 282 - 8º alt.	5,181	2,891	14,3	13,3	2,668	2,897	2,466
Rejeito	Reg 283 - 8º alt.	4,908	2,982	3,6	12,3	2,641	2,986	2,383
Rejeito	Reg 284 - 8º alt.	4,776	2,721	19,0	12,5	2,508	2,696	2,228

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 20/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.9 – Ensaio de resistência e permeabilidade em amostras coletas na praia de rejeitos do 7º alteamento para o projeto do 8º alteamento. Fonte: Doc. [45].

Material [°]	Procedência	K_v (cm/s)	K_h (cm/s)	c' (tf/m ²)	ϕ' (°)
Rejeito	Reg 281 - 8º alt.	-	-	-	-
Rejeito	Reg 282 - 8º alt.	-	-	0,5	34,6 (Cis)
Rejeito	Reg 283 - 8º alt. [°]	-	-	1,1	36,8 ($\overline{CU}$)
Rejeito	Reg 284 - 8º alt.	$3,4 \times 10^{-3}$	-	-	-

[°] condições de moldagem dos corpos de prova: $\gamma_s = \gamma_{s,min}$; $h = h_{ót} + 1\%$

[**] em termos de tensões totais – Reg.283: $c = 0,075$ MPa; $\phi = 20,9^\circ$

Em 2003 também foram executadas 8 sondagens a percussão (SPDAM 02 a 05 e SPDAM 07 a 10), totalizando 30,45 m de comprimento de furo, cuja locação não foi informada Doc. [45].

A partir da desta compilação de documentos, seções geológico-geotécnicas foram elaboradas pela Tecnosolo indicando a locação e interpretação a partir dos ensaios de penetração realizados nas sondagens, apresentados no Doc. [43] (desenhos 247-601 a 605).

A partir da interpretação dos resultados das investigações geotécnicas, a TECNOSOLO em 2003 registrou no Doc. [45] que a estabilidade global da Barragem I basicamente estava condicionada pelas camadas dos seguintes materiais:

- Rejeito depositado no lago, que é o material que mais condiciona a estabilidade do maciço, pois mais de 80% da superfície potencial de ruptura encontram-se nele;
- Eventualmente o maciço inicial, caso o solo de fundação seja mais resistente que o aterro compactado deste maciço, sendo pouco provável que isto ocorra;
- Solo de fundação, subjacente ao maciço inicial;
- Horizontes de baixa resistência (SPT entre 2 e 6 golpes), no perfil dos rejeitos depositados no lago, em alternância com horizontes de resistência mais alta (SPT de 9 a mais de 30 golpes).

6.5.9 9º e 10º alteamentos

O projeto do 9º e 10º alteamentos foi desenvolvido pela GEOCONSULTORIA entre os anos de 2005 e 2006. Para locação das investigações geotécnicas realizadas deverá ser consultado Doc. [56], documentos VL28-DE-002 e VL28-DE-20. Nesta campanha foram realizadas as seguintes investigações:

- Determinação da densidade “in situ” dos rejeitos na praia;
- Coleta de amostras deformadas e indeformadas, em forma de blocos, na área da praia;
- Sondagens a percussão nas áreas da praia, barragem e extravasor;
- Coleta de amostras indeformadas de rejeitos com amostradores Shelby e Osterberg, concomitantes com a sondagem a percussão;
- Sondagens a trado na área da barragem;

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 21/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- Sondagens a trado nas áreas de empréstimo, com coleta de amostras deformadas;
- Instalação de piezômetros e INA's na praia e na barragem;
- Instalação de 2 inclinômetros;
- Execução de ensaios CPTu e Vane Test;
- Ensaios de laboratório, com amostras deformadas e indeformadas em rejeitos, e deformadas e moldadas no material de empréstimo.

Foram realizados os seguintes ensaios em laboratório: caracterização completa (granulometria, densidade natural, densidade real dos grãos, umidade natural e limites de consistência), permeabilidade, Proctor Normal, índice de vazios máximo e mínimo, ensaios de compressão triaxial e de adensamento. Foram também executados ensaios em campo: infiltração, SPT, CPTu e Vane Test, cuja localização está ilustrada na Figura 6.6.

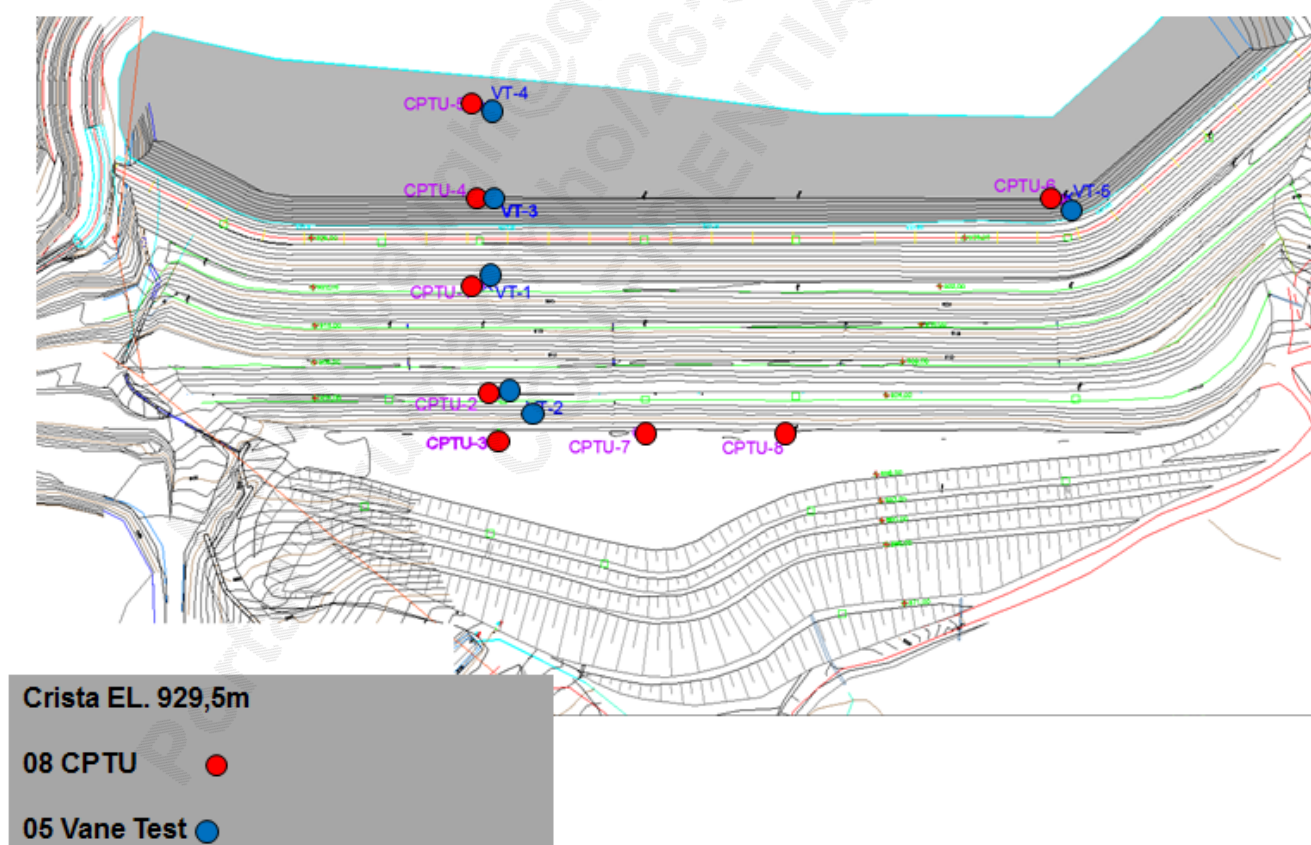


Figura 6.6 – Localização de ensaios CPTU e Vane Test (2005).

A Tabela 6.10 a Tabela 6.24 apresentam os resultados desta campanha de investigação.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 22/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.10 – Resultados dos ensaios de densidade seca “*in-situ*” na praia. Fonte: Doc. [55].

Amostra	γ_d (t/m ³)	Amostra	γ_d (t/m ³)	Amostra	γ_d (t/m ³)
1	2,27	10	2,07	19	2,17
2	2,26	11	1,97	20	2,02
3	2,11	12	2,04	21	2,16
4	1,89	13	2,27	22	2,18
5	2,26	14	1,85	23	2,29
6	1,95	15	2,13	24	2,09
7	1,86	16	2,21	25	2,25
8	1,93	17	2,27	-	-
9	2,08	18	2,19	-	-

γ_d - densidade aparente seca.

Tabela 6.11 – CPTu e VT na interseção da seção 2 com a praia (próximo ao N.A.).
Fonte: Doc. [55].

Prof. (m)	CPTu-05		Prof. NA (m) = 4,90		VT-04		SPT-19	
	q_t (MPa)	f_s (kPa)	u (kN/m ²)	Δu (kN/m ²)	s_u indef. (kPa)	s_u defor. (kPa)	N_{SPT}	N_{160}
0,00	-	-	0,0	0,000	-	-	5,0	8,69
1,00	1,930	-	0,0	4,408	-	-	6,0	8,80
2,00	2,256	7,763	0,0	4,429	-	-	2,0	2,67
3,00	1,147	3,717	0,0	14,000	33,400	22,250	3,0	3,78
4,00	1,567	10,653	0,0	24,102	-	-	5,0	6,00
5,00	1,627	18,652	1,0	32,673	-	-	7,0	8,02
6,00	0,410	7,057	11,0	47,224	45,900	20,960	15,0	16,49
7,00	7,761	55,087	21,0	50,939	-	-	10,0	10,58
8,00	5,640	42,960	31,0	11,143	-	-	2,0	2,04
9,00	4,591	34,239	41,0	7,571	-	-	2,0	1,97
10,00	3,017	43,931	51,0	34,878	-	-	2,0	1,91
11,00	0,677	11,741	61,0	137,469	36,530	13,690	4,0	3,70
12,00	0,698	19,349	71,0	274,449	-	-	6,0	5,38
13,00	2,493	24,074	81,0	168,592	-	-	7,0	6,10
14,00	7,650	59,146	91,0	-54,020	-	-	5,0	4,24
15,00	4,200	67,151	101,0	-8,306	-	-	6,0	4,95
16,00	1,170	36,567	111,0	168,224	100,800	76,580	8,0	6,43
17,00	7,649	65,475	121,0	369,333	-	-	10,0	7,84
18,00	16,049	131,678	131,0	-134,714	-	-	18,0	13,77
19,00	14,709	95,453	141,0	-102,184	-	-	22,0	16,43
20,00	14,486	129,592	151,0	-100,184	-	-	24,0	17,50
21,00	11,821	120,147	161,0	-98,429	-	-		

q_t – resistência de ponta. f_s – atrito lateral. u – poropressão. Δu – variação de poropressão. s_u – coesão não drenada indeformada (indef.) / deformada (defor.). N_{SPT} – índice de resistência a penetração do ensaio SPT
 N_{160} – índice de resistência a penetração do ensaio SPT corrigido para energia e nível de tensões.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 23/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.12 – CPTu e VT na interseção da seção 2 com a praia (próximo ao dique).
Fonte: Doc. [55].

Prof. (m)	CPTu-04		Prof. NA (m) = 12,72		VT-03		SPT-06	
	q _t (MPa)	f _s (kPa)	u (kN/m ²)	Δu (kN/m ²)	s _u indef. (kPa)	s _u defor. (kPa)	N _{SPT}	N ₁₆₀
0,00	-	-	0,00	0,000	-	-	2,0	3,474
1,00	3,707	10,530	0,00	4,898	-	-	8,0	11,733
2,00	4,165	18,054	0,00	0,870	-	-	4,0	5,234
3,00	3,114	18,777	0,00	4,000	-	-	9,0	10,766
4,00	4,190	20,890	0,00	1,214	-	-	4,0	4,437
5,00	3,281	22,520	0,00	3,857	-	-	4,0	4,152
6,00	2,966	21,200	0,00	1,244	-	-	19,0	18,899
7,00	18,453	109,380	0,00	4,347	-	-	10,0	9,623
8,00	16,630	138,180	0,00	-6,184	181,960	73,960	10,0	9,325
9,00	8,010	70,920	0,00	16,898	-	-	6,0	5,428
10,00	3,836	59,820	0,00	34,286	-	-	7,0	6,152
11,00	5,954	78,740	0,00	44,490	-	-	5,0	4,273
12,00	1,244	43,520	0,00	161,837	152,600	16,910	28,0	23,288
13,00	13,158	60,900	2,80	218,139	-	-	8,0	6,481
14,00	13,341	133,020	12,80	-14,147	-	-	10,0	7,897
15,00	6,766	93,460	22,80	-6,106	-	-	8,0	6,162
16,00	7,232	85,480	32,80	-15,596	-	-	7,0	5,262
17,00	3,949	77,320	42,80	-4,943	51,920	24,880	13,0	9,542
18,00	2,945	76,180	52,80	236,159	-	-	15,0	10,757
19,00	9,161	119,700	62,80	-82,279	-	-	34,0	23,831
20,00	26,112	289,270	72,80	-88,073	-	-	21,0	14,392
21,00	-	-	-	-	-	-	-	-

q_t – resistência de ponta. f_s – atrito lateral. u – poropressão. Δu – variação de poropressão. s_u – coesão não drenada indeformada (indef.) / deformada (defor.). N_{SPT} – índice de resistência à penetração do ensaio SPT N₁₆₀ – índice de resistência à penetração do ensaio SPT corrigido para energia e nível de tensões.

Tabela 6.13 – CPTu e VT na interseção da seção 2 com a berma do 7º alteamento.
Fonte: Doc. [55].

Prof. (m)	CPTu-01		Prof. NA (m) = 13,20	
	q _t (MPa)	f _s (kPa)	u (kN/m ²)	Δu (kN/m ²)
0,00	-	-	0,00	0,000
1,00	33,697	305,021	0,00	-11,389
2,00	48,531	384,455	0,00	-11,102
3,00	31,144	275,358	0,00	-14,300
4,00	28,465	216,857	0,00	-3,833
5,00	49,572	416,268	0,00	-8,194
6,00	-	-	0,00	-
7,00	-	-	0,00	-
8,00	-	-	0,00	-
9,00	5,917	14,000	0,00	20,900

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 24/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Prof. (m)	CPTu-01		Prof. NA (m) = 13,20	
	q _t (MPa)	f _s (kPa)	u (kN/m ²)	Δu (kN/m ²)
10,00	9,289	71,118	0,00	25,143
11,00	8,967	72,050	0,00	33,571
12,00	6,549	53,501	0,00	79,816
13,00	1,735	37,129	0,00	470,510
14,00	30,153	308,983	8,00	16,959
15,00	22,426	183,752	18,00	12,800

q_t – resistência de ponta; f_s – atrito lateral; u – poropressão; Δu – variação de poropressão.

Tabela 6.14 – CPTu e VT na interseção da seção 2 com a berma do 6º alteamento.
Fonte: Doc. [55].

Prof. (m)	Prof. NA (m) = 9,33 m	SPT-05	
	u (kN/m ²)	N _{SPT}	N ₁₆₀
0,00	0,00	2,00	3,474
1,00	0,00	7,00	10,267
2,00	0,00	24,00	31,403
3,00	0,00	23,00	27,513
4,00	0,00	30,00	33,275
5,00	0,00	32,00	33,217
6,00	0,00	39,00	38,138
7,00	0,00	44,00	40,736
8,00	0,00	8,00	7,039
9,00	0,00	5,00	4,214
10,00	6,70	4,00	3,282
11,00	16,70	6,00	4,797
12,00	26,70	5,00	3,898
13,00	36,70	6,00	4,564
14,00	46,70	28,00	20,792
15,00	56,70	26,00	18,857
16,00	66,70	17,00	12,049
17,00	76,70	12,00	8,314
18,00	86,70	15,00	10,164
19,00	96,70	16,00	10,607
20,00	106,70	13,00	8,434

u – poropressão. N_{SPT} – índice de resistência à penetração do ensaio SPT. N₁₆₀ – índice de resistência à penetração do ensaio SPT corrigido para energia e nível de tensões.

Tabela 6.15 – CPTu e VT na interseção da seção 2 com a berma do 4º alteamento.
Fonte: Doc. [55].

Prof. (m)	CPTu-02		Prof. NA (m) = 5,40		VT-02		SPT-07	
	q _t (MPa)	f _s (kPa)	u (kN/m ²)	Δu (kN/m ²)	s _u indef. (kPa)	s _u defor. (kPa)	N _{SPT}	N ₁₆₀
0,00	-	-	0,00	-	-	-	3,00	5,211
1,00	21,854	205,451	0,00	1,961	-	-	13,00	19,067
2,00	20,477	210,848	0,00	-11,723	-	-	14,00	18,319
3,00	19,966	130,052	0,00	-12,540	-	-	13,00	15,769

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 25/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Prof. (m)	CPTu-02		Prof. NA (m) = 5,40		VT-02		SPT-07	
	q _t (MPa)	f _s (kPa)	u (kN/m ²)	Δu (kN/m ²)	s _u indef. (kPa)	s _u defor. (kPa)	N _{SPT}	N _{1 60}
4,00	30,246	248,888	0,00	-10,545	-	-	21,00	24,319
5,00	35,769	329,651	0,00	9,441	-	-	17,00	18,869
6,00	11,259	255,622	6,00	-19,132	-	-	9,00	9,604
7,00	3,847	233,830	16,00	80,346	-	-	21,00	21,597
8,00	19,365	280,526	26,00	56,501	-	-	9,00	8,940
9,00	17,563	181,031	36,00	31,935	-	-	3,00	2,883
10,00	7,529	86,259	46,00	45,789	-	-	4,00	3,725
11,00	-	-	56,00	-	219,630	-	8,00	7,229
12,00	8,896	87,706	66,00	241,993	-	-	10,00	8,779
13,00	10,546	120,696	76,00	49,341	-	-	4,00	3,415
14,00	-	-	86,00	-	-	-	10,00	8,308
15,00	-	-	96,00	-	-	-	10,00	8,093
16,00	3,252	94,736	106,00	253,763	97,040	68,220	6,00	4,733
17,00	5,972	100,706	116,00	474,822	144,210	79,300	6,00	4,617
18,00	11,080	176,776	126,00	125,488	-	-	8,00	6,008
19,00	10,862	220,078	136,00	56,420	-	-	10,00	7,333
20,00	10,547	185,641	146,00	69,983	-	-	8,00	5,732
21,00	5,079	210,00	156,00	68,00	-	-		

q_t – resistência de ponta; f_s – atrito lateral; u – poropressão; Δu – variação de poropressão; s_u – coesão não drenada indeformada (indef.) / deformada (defor.); N_{SPT} – índice de resistência à penetração do ensaio SPT; N_{1 60} – índice de resistência à penetração do ensaio SPT corrigido para energia e nível de tensões.

Tabela 6.16 – CPTu e VT na interseção da seção 2 com a berma do 3º alteamento.

Fonte: Doc. [55].

Prof. (m)	CPTu-03		Prof. NA (m) = 7,20		SPT-07	
	q _t (MPa)	f _s (kPa)	u (kN/m ²)	Δu (kN/m ²)	N _{SPT}	N _{1 60}
0,00	-	-	0,00	0,00	17,00	29,530
1,00	12,912	49,416	0,00	-22,609	5,00	7,333
2,00	5,120	34,429	0,00	-1,400		
3,00	1,497	19,062	0,00	20,480	10,00	12,666
4,00	3,618	23,152	0,00	-11,304	15,00	18,063
5,00	11,430	63,167	0,00	-29,722	13,00	14,955
6,00	8,025	51,900	0,00	9,220	4,00	4,413
7,00	5,745	56,480	0,00	30,280	10,00	10,610
8,00	7,040	78,640	0,00	28,240	4,00	4,092
9,00	3,881	55,560	8,00	83,620	11,00	10,871
10,00	12,203	151,960	18,00	3,940	6,00	5,739
11,00	9,532	98,600	28,00	5,520	8,00	7,416
12,00	7,610	114,670	38,00	7,232	14,00	12,595
13,00	12,283	110,214	48,00	-13,952	17,00	14,860
14,00	15,750	184,025	58,00	-27,325	17,00	14,452

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 26/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Prof. (m)	CPTu-03		Prof. NA (m) = 7,20		SPT-07	
	q _t (MPa)	f _s (kPa)	u (kN/m ²)	Δu (kN/m ²)	N _{SPT}	N _{1 60}
15,00	-	-	68,00	-68,00	14,00	11,585
16,00	15,601	217,812	78,00	-12,094	13,00	10,480
17,00	11,691	191,689	88,00	-6,826	11,00	8,645
18,00	8,845	160,937	98,00	-1,157	5,00	3,833
19,00	4,439	73,760	108,00	89,00	6,00	4,490
20,00	2,669	71,160	118,00	496,420	4,00	2,923
21,00	1,707	28,340	128,00	768,540	-	-
22,00	6,736	60,260	138,00	593,700	-	-
23,00	9,320	128,800	148,00	190,780	-	-
24,00	2,020	68,960	158,00	681,140	-	-
25,00	1,481	34,619	168,00	924,667	-	-

q_t – resistência de ponta; f_s – atrito lateral; u – poropressão; Δu – variação de poropressão; s_u – coesão não drenada indeformada (indef.) / deformada (defor.); N_{SPT} – índice de resistência à penetração do ensaio SPT; N_{1 60} – índice de resistência à penetração do ensaio SPT corrigido para energia e nível de tensões.

Tabela 6.17 – Ensaios de dissipação conjuntos com ensaios CPTu. Fonte: Doc. [55].

Furo	Ensaio	Profundidade do ensaio (m)	CH – Coeficiente de adensamento horiz. (m ² /seg.) IR = 50	CH – Coeficiente de adensamento horiz. (m ² /seg.) IR = 500
CPTu-1	DPP-01-01	2,44	5,06E-06	1,60E-05
	DPP-01-02	10,63		
	DPP-01-03	12,84	1,02E-04	3,23E-04
	DPP-01-04	15,28		
CPTu-2	DPP-02-01	15,84	9,36E-05	2,96E-04
	DPP-02-02	16,61		
CPTu-3	DPP-03-01	2,60	7,80E-06	2,47E-05
	DPP-03-02	8,66		
	DPP-03-03	19,39	3,21E-05	1,01E-04
	DPP-03-04	23,39		
CPTu-4	DPP-04-01	6,37	4,32E-05	1,37E-04
	DPP-04-02	11,17		
	DPP-04-03	12,12	7,29E-06	2,31E-05
	DPP-04-04	16,79		
CPTu-5	DPP-05-01	5,04	1,97E-05	6,23E-05
	DPP-05-02	10,02		
	DPP-05-03	15,01	7,15E-06	2,26E-05
CPTu-6	DPP-06-01	2,97		
	DPP-06-02	8,67	4,01E-05	1,27E-04
	DPP-06-03	11,49		
	DPP-06-04	13,60	3,30E-05	1,04E-04
	DPP-06-05	17,09		
	DPP-06-06	20,07		
CPTu-7	DPP-07-01	2,44	7,24E-06	2,29E-05
	DPP-07-02	5,04		
	DPP-07-03	7,81	5,35E-05	1,69E-04

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 27/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Furo	Ensaio	Profundidade do ensaio (m)	CH – Coeficiente de adensamento horiz. (m ² /seg.) IR = 50	CH – Coeficiente de adensamento horiz. (m ² /seg.) IR = 500
CPTu-8	DPP-07-04	10,02		
	DPP-07-05	15,06		
	DPP-08-01	2,56	9,59E-06	3,03E-05
	DPP-08-02	5,01	2,44E-05	7,72E-05
	DPP-08-03	10,00		
	DPP-08-04	15,01		

Tabela 6.18 – Permeabilidade obtidas de ensaios de infiltração em furos de sondagens.
Fonte: Doc. [55].

Furo	Trecho (m)	Coeficiente de permeabilidade k (cm/s)
STG-03	0,00 a 1,00	$< 1,0 \times 10^{-7}$
	1,00 a 2,00	$5,5 \times 10^{-6}$
	4,00 a 5,00	$1,9 \times 10^{-6}$
SP-17	4,00 a 5,00	$9,7 \times 10^{-6}$
	9,00 a 10,00	$1,7 \times 10^{-4}$
	14,00 a 15,00	$1,2 \times 10^{-4}$
	19,00 a 20,00	$3,3 \times 10^{-4}$
SP-19	4,00 a 5,00	$3,2 \times 10^{-4}$
	9,00 a 10,00	$5,6 \times 10^{-5}$
	14,00 a 15,00	$6,3 \times 10^{-5}$
SP-09	4,00 a 5,00	$2,5 \times 10^{-5}$
	9,00 a 10,00	$4,8 \times 10^{-5}$
	14,00 a 15,00	$9,3 \times 10^{-5}$
	19,00 a 20,00	$1,6 \times 10^{-4}$
SP-25	2,00 a 3,00	$1,4 \times 10^{-4}$
	4,00 a 5,00	$1,5 \times 10^{-4}$
	9,00 a 10,00	$9,1 \times 10^{-7}$
	14,00 a 15,00	$8,2 \times 10^{-7}$
	19,00 a 20,00	$8,6 \times 10^{-5}$
SP-26	0,00 a 1,00	$< 1,0 \times 10^{-7}$
	2,00 a 3,00	$5,1 \times 10^{-6}$
	5,00 a 6,00	$5,3 \times 10^{-5}$
	8,00 a 9,00	$1,1 \times 10^{-4}$
	10,00 a 11,00	$1,7 \times 10^{-5}$
	12,00 a 13,00	$6,4 \times 10^{-5}$
	14,00 a 15,00	$8,2 \times 10^{-5}$
SP-27	0,00 a 1,00	$5,2 \times 10^{-5}$
	2,00 a 3,00	$6,7 \times 10^{-6}$
	3,00 a 4,00	$7,4 \times 10^{-6}$
	4,00 a 5,00	$1,8 \times 10^{-5}$
	5,00 a 6,00	$2,5 \times 10^{-4}$
	7,00 a 8,00	$4,0 \times 10^{-5}$
	8,00 a 9,00	$< 1,0 \times 10^{-7}$
	9,00 a 10,00	$9,0 \times 10^{-7}$

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 28/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Furo	Trecho (m)	Coefficiente de permeabilidade k (cm/s)
SP-28	10,00 a 12,00	$9,5 \times 10^{-6}$
	12,00 a 15,00	$8,2 \times 10^{-6}$
	0,00 a 1,00	$3,9 \times 10^{-5}$
	2,00 a 3,00	$2,9 \times 10^{-5}$
	5,00 a 6,00	$6,5 \times 10^{-6}$
	7,00 a 8,00	$2,4 \times 10^{-6}$
	9,00 a 10,00	$1,5 \times 10^{-5}$
	11,00 a 12,00	$1,0 \times 10^{-5}$
	14,00 a 15,00	$2,4 \times 10^{-6}$

Tabela 6.19 – Resultados dos ensaios de densidade dos sólidos e da granulometria dos rejeitos. Fonte: Doc. [55].

Amostra	γ_s (t/m ³)	% < #200	Amostra	γ_s (t/m ³)	% < #200	Amostra	γ_s (t/m ³)	% < #200
1	4,78	24	10	4,65	48	19	4,02	25
2	4,76	38	11	4,79	49	20	4,16	34
3	4,29	75	12	4,26	61	21	4,63	39
4	4,64	86	13	4,61	44	22	4,57	20
5	5,11	28	14	4,47	16	23	4,84	26
6	4,70	26	15	4,18	28	24	4,63	36
7	4,32	54	16	4,85	19	25	4,53	25
8	4,24	46	17	4,84	28	-	-	-
9	4,64	66	18	4,24	48	-	-	-

γ_s - densidade dos sólidos.

Tabela 6.20 – Limites de consistência em amostras de rejeitos. Fonte: Doc. [55].

Furo	Profundidade (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SPT - 04	6,00 a 6,45	NL	NP	-
	12,00 a 12,45	NL	NP	-
	17,00 a 17,45	NL	NP	-
SPT - 06	6,00 a 6,45	33,3	23,5	9,8
	7,00 a 7,45	NL	NP	-
	11,00 a 11,45	NL	NP	-
	16,00 a 16,45	24,0	18,9	5,1
SPT - 07	7,00 a 7,45	NL	NP	-
	9,00 a 9,45	19,7	14,0	5,7
	12,00 a 12,45	NL	NP	-
SPT - 15	3,00 a 3,45	NL	NP	-
	9,00 a 9,45	18,2	13,8	4,4
	12,00 a 12,45	NL	NP	-
SPT - 18	5,00 a 5,45	NL	NP	-
	10,00 a 10,45	30,3	23,1	7,2
	15,00 a 15,45	18,5	14,2	4,3

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 29/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.21 – Resultados de ensaios de caracterização, granulometria e índice de vazios.
Fonte: Doc. [55].

Tipo	Local	Prof. (m)	Class.	Granulometria (%)				Y _s (g/cm³)	Y _d (g/cm³)	W _{ot} . (%)	Y _d max. (g/cm³)	Y _d / Y _d max. (%)	e	e _{max} .	e _{min} .	CR (%)
				Argila	Silte	Areia										
						Fina	Méd.									
Def.	ADG-01	0	Rejeitos	4,9	8,6	75,9	0,3	4,783	2,27	17,3	2,267	100,1	1,11	-	-	-
Def.	ADG-04	0	Rejeitos	6,5	44,3	49,1	0,1	4,645	1,89	19,7	2,192	86,2	1,45	-	-	-
Bloco	ADG-05	0,3	Rejeitos	3,3	6,3	87,7	2,6	4,412	2,386	19,5	2,356	101,3	1,066	1,135	0,571	12,2
Def.	ADG-06	0	Rejeitos	3,7	9,3	61,8	21,8	4,706	1,95	17,6	2,372	82,2	1,41	-	-	-
Def.	ADG-08	0	Rejeitos	9,5	8,7	71,7	9,7	4,412	1,93	17,7	2,203	87,6	1,20	-	-	-
Bloco	ADG-09	0,6	Rejeitos	6,6	40,7	52,3	0,4	4,679	2,482	16,1	2,295	108,2	1,004	1,302	0,74	53,0
Bloco	ADG-10	0,4	Rejeitos	4,8	4,3	87,7	3,1	4,911	2,062	18,5	2,304	89,5	0,949	1,349	0,793	71,9
Bloco	ADG-11	0,6	Rejeitos	5,8	21,2	69,7	3,2	4,565	1,859	16,1	2,108	88,1	0,983	1,387	0,775	66,0
Def.	ADG-13	0	Rejeitos	6,6	40,7	52,3	0,4	4,679	2,27	17,4	2,307	98,4	1,03	1,353	0,800	58,4
Def.	ADG-17	0	Rejeitos	4,8	4,3	87,7	3,1	4,911	2,27	18,1	2,273	100,0	1,13	-	-	-
Def.	ADG-21	0	Rejeitos	6,2	8,2	78,4	7,1	4,412	2,16	19,8	2,220	97,3	1,14	1,476	0,793	49,1
Def.	ADG-25	0	Rejeitos	6,8	10,2	78,1	4,8	4,526	2,25	19,9	2,243	100,3	1,01	-	-	-
Osterberg	CPTU-3	2,50	Rejeitos	7,1	56,0	36,6	0,2	4,715	2,647	-	-	-	0,781	-	-	-
Shelby	CPTU-4	1,00	Rejeitos	8,3	51,7	39,9	0,1	4,461	2,897	-	-	-	0,540	-	-	-
Shelby	CPTU-4	1,50	Rejeitos	3,6	16,5	75,0	4,8	4,521	2,995	-	-	-	0,510	-	-	-
Shelby	CPTU-4	2,00	Rejeitos	4,8	20,2	74,6	0,4	3,796	2,918	-	-	-	0,301	-	-	-
Shelby	CPTU-4	2,50	Rejeitos	4,3	9,9	83,2	2,5	4,540	3,065	-	-	-	0,481	-	-	-
Osterberg	CPTU-4	4,00	Rejeitos	28,4	54,6	14,8	2,2	3,796	1,955	-	-	-	0,942	-	-	-
Osterberg	CPTU-5	5,00	Rejeitos	4,8	25,9	68,0	1,3	4,322	2,596	-	-	-	0,665	-	-	-
Osterberg	CPTU-5	5,50	Rejeitos	13,2	26,8	57,2	2,4	4,378	3,083	-	-	-	0,420	-	-	-
Shelby	CPTU-6	1,00	Rejeitos	2,4	28,9	68,6	0,1	4,186	2,528	-	-	-	0,656	-	-	-
Shelby	CPTU-6	1,50	Rejeitos	5,9	48,4	45,7	0,0	4,059	2,718	-	-	-	0,493	-	-	-
Osterberg	CPTU-6	2,50	Rejeitos	2,9	25,6	70,2	1,3	4,433	3,097	-	-	-	0,431	-	-	-
Osterberg	CPTU-6	3,00	Rejeitos	23,9	40,3	32,1	0,9	3,973	2,470	-	-	-	0,609	-	-	-
			Lama	50,2	39,7	18,2	1,9	4,004	-	-	-	-	-	-	-	-

Onde: γ_s – densidade dos sólidos; γ_d – densidade seca; w_{ot} – umidade ótima; $\gamma_{d\ max}$ – densidade seca máxima
e – índice de vazios; e_{max} – índice de vazios máximo. e_{min} – índice de vazios mínimo. CR – compactidade relativa.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE - Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	PÁGINA 30/265 REV. 4

Tabela 6.22 – Resultados de ensaios compacidade, adensamento, permeabilidade e triaxial.
Fonte: Doc. [55].

Local	Prof. (m)	$\gamma_d / \gamma_{dmax.} (%)$	e_c	CR (%)	Triaxiais CAU _{SAT}		Adensamento		Permeabilidade
					$c' (t/m^2)$	$\phi' (^\circ)$	C_{c1}	C_{c2}	$k (x 10^{-5} cm/s)$
ADG-05	0,30	101,3	1,066	12,2	0	40,5	0,061	0,123	15,7
ADG-09	0,60	108,2	1,004	53,0	0	38,5	0,031	0,066	2,3
ADG-10	0,40	89,5	0,949	71,9	0	37,0	0,060	0,093	28,0
ADG-11	0,60	88,1	0,983	66,0	0	37,0	0,039	0,108	1,3
CPTU-3	2,50	-	0,781	-	0	37,0	-	-	0,16
CPTU-4	4,00	-	0,942	-	0	42,0	-	-	6,5
CPTU-5	5,00	-	0,655	-	0	38,5	-	-	5,0

Onde: γ_d - densidade aparente seca; $\gamma_{d max.}$ - densidade seca máxima; e_c - índice de vazios após adensamento; CR - compacidade relativa; c' , ϕ' - parâmetros de resistência - tensões efetivas – coesão e ângulo de atrito; C_{c1} - índice de compressão (12,5 a 100 kPa); C_{c2} - índice de compressão a 1600 kPa); K - coeficiente de permeabilidade.

Tabela 6.23 – Resumo dos ensaios de laboratório com amostras de solo de empréstimo.
Fonte: Doc. [55].

Ensaio		Amostra	STG-01		STG-02		STG-03				STG-04		STG-05	
		(0-1,80 m)	(0-2,83 m)		(0-5,15 m)				(0-2,05 m)		(0-4,60 m)			
Granulometria (%)	Argila				39,2									
	Silte				33,5									
	Areia fina				22,0									
	Ar. média				4,1									
	Ar. grossa				1,2									
	Pedregulho				0,0									
Densidade.dos sólidos (g/cm³)					2,781									
Umidade ótima (%)		25,3	24,9		28,5				20,3		27,3			
Dens. seca max. (g/cm³)		1,507	1,675		1,458				1,647		1,439			
Adensamento (*)	σ'vm (kPa)				272									
	Cc				0,305									
Permeabilidade (cm/s) (*)					2,1 x 10 ⁻⁷									
Triaxiais CIU _{sat} (*)	CIU _{nat}	c (kPa)			0	50								
		φ (°)			28	19								
		c' (kPa)			0	20								
		φ' (°)			31	31								
Profundidade (m)		1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	2,0	3,0	
Umidade (%)		27,2	27,2	26,0	28,6	29,9	32,1	32,5	32,8	16,1	16,1	27,1	29,8	
Umidade Ot. (%)		25,3	24,9	24,9	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	20,3	20,3	27,3	27,3	
Desvio (%)		1,9	2,3	1,1	0,1	1,4	3,6	4,0	4,3	-4,2	-4,2	-0,2	2,5	

Onde: (*) - Ensaios executados sobre amostras compactadas com grau de compactação de 98%, e umidade 1% acima da ótima; σ'_{vm} - tensão de pré-adensamento; γ_d - densidade aparente seca; C_c - coeficiente de compressão; c' , ϕ' - parâmetros de resistência - tensões efetivas – coesão e ângulo de atrito; c, ϕ - parâmetros de resistência - tensões totais – coesão e ângulo de atrito.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 31/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.24 – Ensaios em amostras de areias. Fonte: Doc. [55].

Amostra	Índice de vazios		Permeabilidade k (cm/s)
	e _{máx}	e _{mín}	
1	1,013	0,701	$2,37 \times 10^{-2}$
2	1,054	0,751	$1,21 \times 10^{-1}$
3	1,009	0,674	$9,62 \times 10^{-2}$
4	1,026	0,663	$5,30 \times 10^{-2}$

Como se pode observar, uma extensiva campanha de investigação foi elaborada para os projetos dos 9º e 10º alteamentos. Abaixo são reproduzidos alguns comentários da projetista em relação à interpretação dos resultados das investigações geotécnicas, conforme Doc. [55].

- 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. Constitui-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 hidraulicamente. 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 compacidade dos rejeitos lançados hidraulicamente 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 tipo não drenadas, cujo estágio final seria a liquefação. Pela análise dos ensaios CPTu, só foi possível identificar duas camadas com alguma possibilidade de continuidade 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), obtendo-se os seguintes valores de resistências não drenadas normalizadas: $S_{u,pico} = 0,70\sigma'_v$ e $S_{u,residual} = 0,14\sigma'_v$;
- A análise dos resultados dos Vane Tests, em geral, mostrou que a ocorrência de comportamento não drenado ficou restrita a zonas limitadas do maciço, conforme se abordou anteriormente. Os resultados dos ensaios não devem ser considerados representativos de todo o depósito, mas apenas das camadas de menor resistência. Obtiveram as seguintes relações típicas entre resistências não drenadas e tensões efetivas verticais: $S_{u,pico} = 0,34\sigma'_v$ e $S_{u,residual} = 0,15\sigma'_v$;

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 32/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- Os resultados de ensaios de infiltração em rejeitos situaram o coeficiente de permeabilidade na faixa de 10^{-5} a 10^{-4} cm/s. Já na parte inferior, foram atravessados os diques externos com solo, onde os coeficientes de permeabilidade situam-se na faixa dos 10^{-6} a 10^{-5} cm/s, com valores de até 10^{-7} cm/s. Para os rejeitos, os coeficientes de permeabilidade são da mesma ordem acima;
- Observa-se que a densidade dos sólidos decresce com o aumento da distância na praia, enquanto a percentagem cujo diâmetro seja passante na #200 aumenta com a distância, ou seja, a granulometria fica mais fina à medida que se distancia da barragem;
- A ocorrência de materiais plásticos é limitada;
- Nos rejeitos predominam ora as frações de areia fina, ora a fração siltosa, com muito pouco areia média. As densidades dos sólidos situam-se mais na faixa de 4 a 5 t/m³. As densidades aparentes secas das amostras da praia tiveram poucos valores abaixo de 2 t/m³; a maioria ficou na faixa de 2 a 2,3 t/m³. Comparando-se com os índices de vazios, resultaram compacidades relativas geralmente entre 50 e 60%, com alguns valores próximos a 70%;
- Contrariamente às expectativas, não se observou desenvolvimento de pressões neutras na fase de cisalhamento; alguns corpos de prova mostraram comportamento dilatante;
- Observa-se que todas as amostras de areias ensaiadas apresentam coeficiente de permeabilidade superior a 1×10^{-2} cm/s.

6.5.10 Depósito de Rejeito

Visando os estudos de liquefação do rejeito, em 2016 foi programada campanha de investigações geotécnicas pela GEOCONSULTORIA em conjunto com a VALE, apresentada no Doc. [79]. Esta campanha foi baseada em sondagens e coleta de blocos indeformados. Foram coletadas 105 amostras em furos de sondagem na berma da EL. 900,0m e 4 blocos indeformados, sendo 3 na berma e 1 na praia de rejeitos (EL. 940,0m). A localização da coleta dos blocos indeformados está ilustrada na Figura 6.7.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 33/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

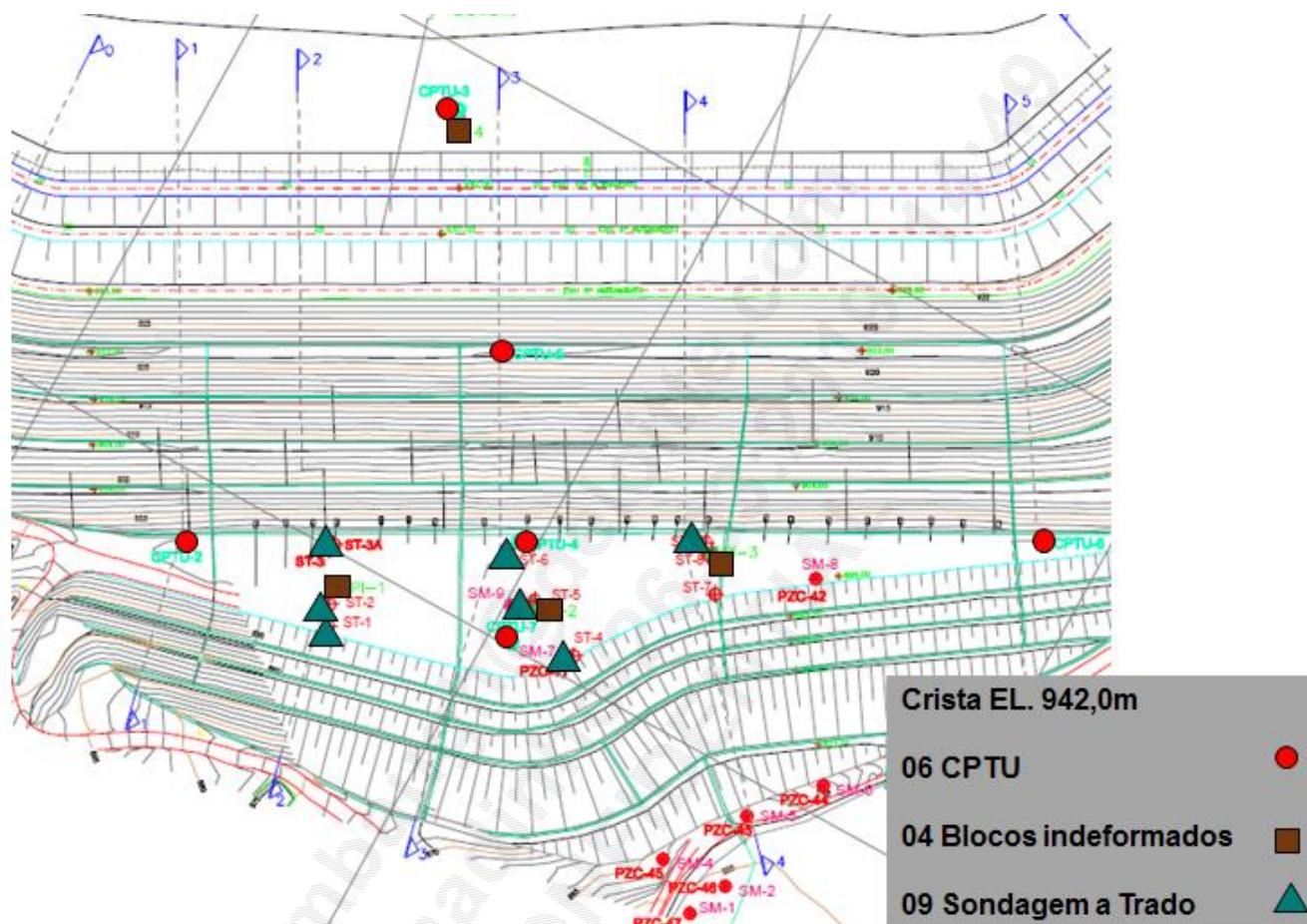


Figura 6.7 – Localização da coleta dos blocos indeformados, ensaios CPTU e Sondagens. Fonte: Doc. [79].

Foram realizados ensaios de caracterização completa, índice de vazios máximo e mínimo, compactação, permeabilidade, adensamento e ensaios de resistência ao cisalhamento. O resultado desses ensaios está apresentado na Tabela 6.25 a Tabela 6.27.

Tabela 6.25 – Resultados de ensaios em laboratório. Fonte: Doc. [129].

Local	Prof. (m)	Class.	LL (%)	Granulometria (%)				Y _s (g/cm ³)	Y _d (g/cm ³)	W _{ot.} (%)	Y _d max. (g/cm ³)	Y _d / Y _d max. (%)	e	e _{max.}	e _{min.}	CR (%)
				Argila	Silte	areia										
						Fina	Média									
PI01	1,3-1,5	Areia Siltosa	NP	3,5	16,5	57,1	22,8	4,919	2,223	5,45	2,741	81,1	1,215	1,18	0,94	0
PI02A	1,2-1,5	Silte arenoso	NP	4,6	66,2	28,4	0	4,440	2,348	13,86	2,251	104,3	0,89	1,19	0,94	120
PI03A	1,2-1,5	Areia Siltosa	NP	0,3	21,7	48,0	29,6	4,527	2,575	9,79	2,395	107,5	0,753	1,06	0,81	122,8
PI04	(*)													1,29	1,05	

Onde: γ_s – densidade dos sólidos; γ_d – densidade seca; w_{ot} – umidade ótima; $\gamma_d \text{ max.}$ – densidade seca máxima; e – índice de vazios; e_{max} – índice de vazios máximo; e_{min} – índice de vazios mínimo; CR – compactidade relativa.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 34/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.26 – Resultados de ensaios de laboratório – amostras indeformadas.
Fonte: Doc. [129].

Tipo	Local	Prof. (m)	$\gamma_d / \gamma_{dmax.}$ (%)	Triaxiais CIU _{SAT}			Perm.
				S_u / σ'_c	c' (kPa)	Φ' (°)	k ($\times 10^{-3}$ cm/s)
Bloco	PI01	1,3-1,5	81,1	0,84-0,66	5,5	29,6	1,42
Bloco	PI02A	1,2-1,5	104,3	4,76-1,45	28,0	38,8	1,11
Bloco	PI03A	1,2-1,5	107,5	6,74-1,62	85,5	37,6	1,04
Triaxiais com trajetórias CSD							
Bloco	PI01	1,3-1,5	81,1		0,5	32,0	
Bloco	PI02A	1,2-1,5	104,3		0,5	37,0	
Bloco	PI03A	1,2-1,5	107,5		4,5	38,0	

S_u – coesão não drenada; σ'_c – tensão efetiva confinante; c' , Φ' - parâmetros de resistência - tensões efetivas – coesão e ângulo de atrito; K – coeficiente de permeabilidade.

Tabela 6.27 – Resultados de ensaios de laboratório – amostras moldadas.
Fonte: Doc. [129].

Tipo	Local	Prof. (m)	$\gamma_d / \gamma_{dmax.}$ (%)	Triaxiais CIU _{SAT}			Adensamento	
				S_u / σ'_c	c' (kPa)	Φ' (°)	Cc_1	Cc_2
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	PI01	1,3-1,5	79	0,20-0,28	0	32		
Moldada	PI04	(*)	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		

(*) – não fornecida; γ_s – densidade dos sólidos. γ_{dmax} – densidade seca máxima.

S_u – coesão não drenada. σ'_c – tensão efetiva confinante. c' – coesão efetiva.

Cc_1 - índice de compressão (12,5 a 100 kPa); Cc_2 - índice de compr. (100 a 1600 kPa)

Complementarmente, foi realizada em 2016 campanha de investigação em campo com ensaios CPTU e Vane, cuja localização está ilustrada na Figura 6.8.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 35/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

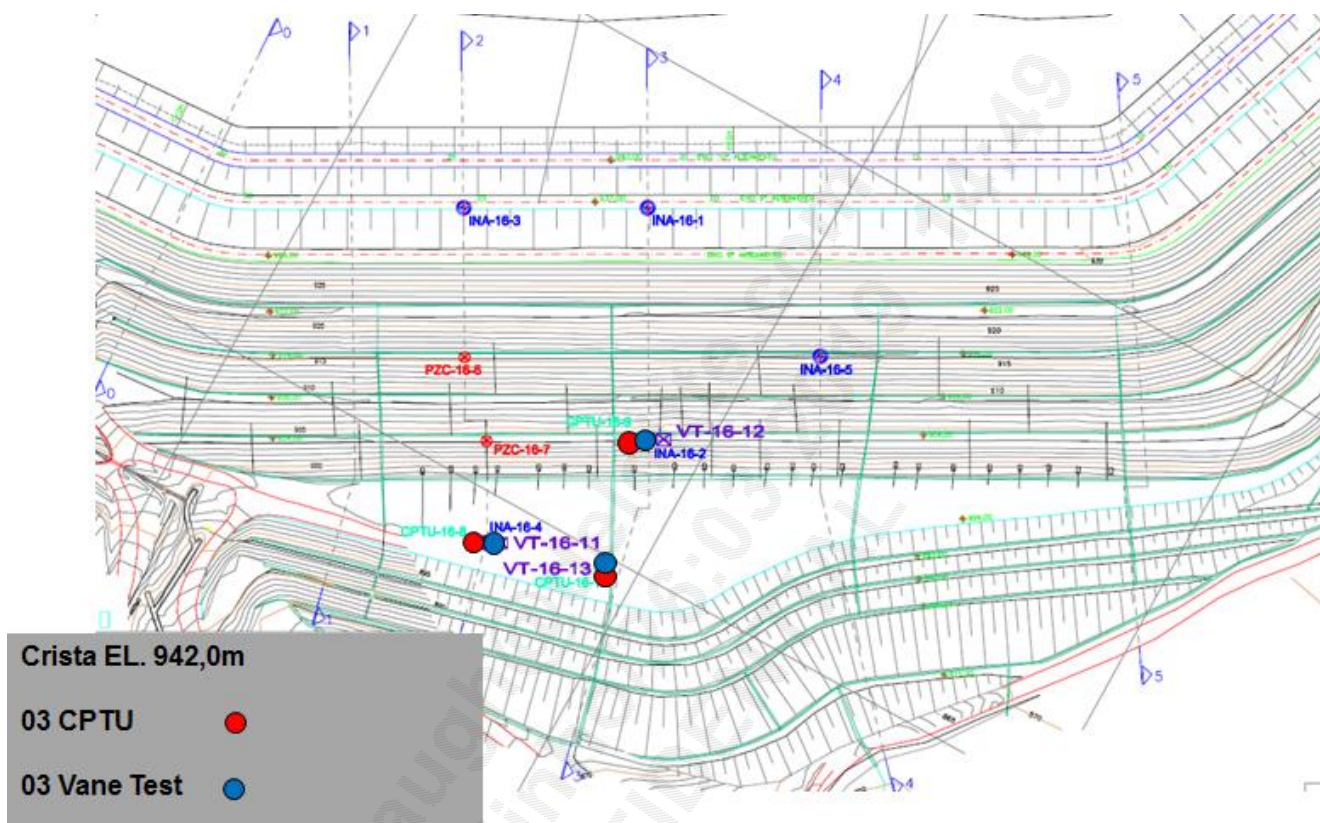


Figura 6.8 – Localização de ensaios CPTU e Vane Test (2016, campanha adicional).

A análise dos dados dos ensaios em campo e em laboratório está apresentada no item 10 do presente relatório.

6.6 FUNDAÇÃO

Foram encontrados 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, execução de instrumentos ou para subsídio de auditorias. Não foi localizado mapa geológico local ou descrição geológica dos solos ocorrentes.

Segundo a avaliação de performance elaborada pela DAM Projetos e DF Consultoria, Doc.[182], os projetos de alteamentos posteriores, como o realizado para o 3º alteamento pela RIAD CHAMMAS, mostram seções com sondagens efetuadas nas ombreiras, as quais indicam a existência de material silto-argiloso, com NSPT entre 5 e 11 golpes, recobrimdo o horizonte de solo saprolítico, mais resistente, com NSPT entre 15 a 40 golpes.

Em regra, os diques de alteamentos assentam-se na praia de rejeitos em sua porção central e nas ombreiras são apoiados em terreno constituído por solo residual ou saprolítico.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 36/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

6.7 MACIÇO

A Barragem I foi idealizada para possuir alteamentos sucessivos conforme os rejeitos iam sendo dispostos no reservatório. O maciço inicial é constituído de material homogêneo drenante (minério ultrafino) com crista na EL. 874,0 m e altura de 18 m. A inclinação dos taludes montante e jusante é de 1V: 1,5H e 1V: 1,75H, respectivamente, revestidos por camada de laterita de 4,0 m de espessura a montante e 1,0 m de espessura a jusante. Existe ainda no talude de jusante uma berma de 5,0 m de largura na EL. 864,0 m. Fonte: Doc. [22].

A estrutura foi alteada em sua maior parte pelo método montante, alcançando atualmente a EL. 942,0 m. O barramento tem cerca de 86 m de altura e 720 m de comprimento de crista. Há uma berma de largura variável na EL. 899,0 m, decorrente do recuo do eixo da estrutura para montante quando da execução do 4º alteamento.

O material constituinte dos diques de alteamento é o próprio rejeito granular compactado ou o solo local. Em alguns casos há indicação do uso de solo e rejeito após a exaustão da área de empréstimo de solo, porém nesses casos não há *as built* com indicação regional do material utilizado.

O maciço apresenta compacidade medianamente compacta a compacta, com coeficientes de permeabilidade situando-se na faixa dos 10^{-6} a 10^{-5} cm/s, com valores de até 10^{-7} cm/s. Para os rejeitos, os coeficientes de permeabilidade são da mesma ordem.

O material presente no reservatório é o próprio rejeito lançado, classificado como areia fina siltosa e silte arenoso. Sua compacidade é heterogênea, variando de fofa a compacta. Apresenta coeficiente de permeabilidade da ordem de 10^{-5} a 10^{-4} cm/s.

6.8 DRENAGEM INTERNA

Foram verificadas várias incertezas quanto ao sistema de drenagem interna em vários alteamentos devido à carência de informações históricas. Na maioria dos casos tem-se como informação os projetos executivos do alteamento, porém não há *“as built”* indicando se a solução projetada foi efetivamente implantada na sua totalidade.

É apresentado a seguir um breve descritivo da solução de drenagem interna implantada para cada etapa construtiva. Para maiores detalhes os desenhos de projetos deverão ser consultados.

- Maciço Inicial, 1º alteamento e 2º alteamento parcial (até EL. 889 m): O projeto original do dique de partida não previa sistema de drenagem interna. As primeiras etapas de alteamento, até a EL. 889 m, foram executados sem sistema de drenagem interna;
- 2º alteamento parcial (da EL. 889 m até EL. 892 m): os projetos indicam a execução de tapete de *sinterfeed* e tubos longitudinais envoltos por hematitinha;
- 3º alteamento (até EL. 899 m): não foram recebidas informações;
- 4º alteamento (até EL. 905 m): os projetos indicam a execução de tapete de *sinterfeed* e tubo longitudinal;

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 37/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- 5º, 6º e 7º alteamentos (até EL. 922,5 m): os projetos indicam filtro vertical (0,80 m) e tapete drenante (0,50 m) constituídos de *sinterfeed*. A saída do sistema de drenagem é conectada a tubos porosos ou de PVC perfurados;
- 8º alteamento (até El. 929,5 m): O *as built* indica filtro vertical (0,80 m) e tapete drenante (0,50 m) constituído de areia. Projetou-se na saída do sistema de drenagem interna trincheira drenante de 2,0 m de profundidade e 0,6 m de largura. A saída é conectada a um tubo PVC perfurado;
- 9º alteamento (até El. 937,0 m): O projeto previa somente tapete horizontal (0,50 m) de areia estendido para montante, contudo, o *as built* indica que também foi executado filtro vertical (0,80 m). Executou-se ainda dreno de pé constituído de brita, envolto por geossintético.
- 10º alteamento (até El. 942,0 m): de acordo com o *as built*, foi executado tapete drenante de 0,50 m de espessura, constituído de areia lavada com dreno de pé na saída, envolto por geossintético.

6.9 DRENAGEM SUPERFICIAL

Conforme descrito no Doc. [130], a drenagem superficial da Barragem I consiste em canaletas de concreto nas bermas e descidas d'água sobre o maciço.

De acordo com o projeto executivo dos alteamentos até as cotas 937m e 942m, Doc. [55], o sistema de drenagem superficial foi dimensionado para chuvas com período de retorno igual a 25 anos, sendo composto por canaletas paralelas ao eixo da berma na EL. 930 m, que seguem os projetos das canaletas utilizadas nas demais bermas. De acordo com o projeto Executivo do 9º alteamento, Docs. [69] e [70], as canetas de concreto tem formato trapezoidal, e direcionam o fluxo para caixas de passagem de 0,6 m x 0,6 m e 1,1 m de altura, conectadas a tubulação de concreto circular com 0,40 m de diâmetro, ligada a descida d'água em degraus, com inclinação de 5%, 0,43 m de altura, 0,94 m de comprimento e 0,50 m de largura. Os alteamentos inferiores contam com um sistema de canaletas de concreto nas bermas, que direcionam a drenagem as descidas d'água em degraus citadas anteriormente. Na Figura 6.9 apresenta-se o arranjo geral do sistema de drenagem superficial da barragem.

As dimensões 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.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 38/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

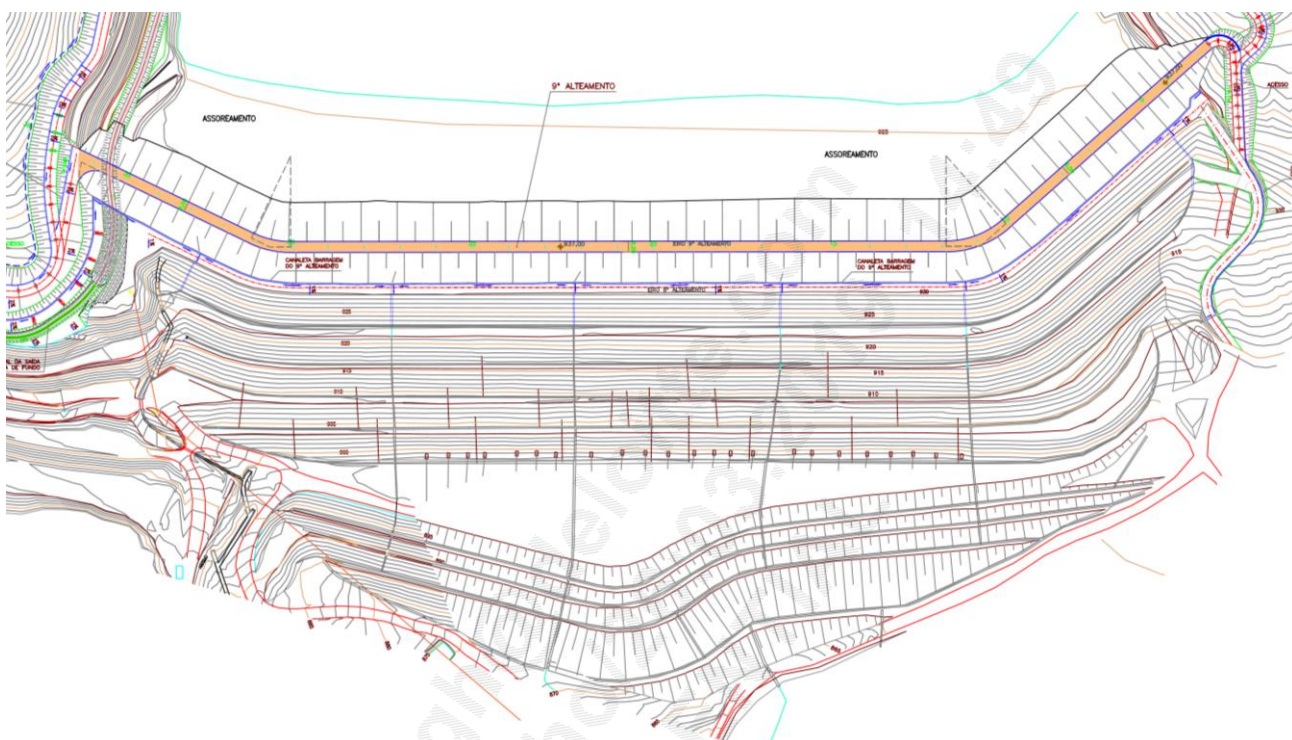


Figura 6.9 – Arranjo Geral do Sistema de Drenagem Superficial da Barragem I – Planta.
Fonte: Adaptado do Doc. [69].

6.10 SISTEMA EXTRAVASOR

O sistema extravasor da Barragem I, conforme Projeto Executivo desenvolvido pela GEOCONSULTORIA em dezembro de 2006, teve seu padrão alterado do até então utilizado para os alteamentos anteriores, passando a operar com vertedor tipo torre e com galeria de fundo, em vez de se utilizar canais. O novo sistema foi concebido de forma a se controlar, garantir a cota do nível d'água no reservatório e a largura da praia.

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

- 3 torres de seção retangular de 1,2 m de largura, nos “stop-logs”, e 1,0 m de profundidade, com 5 m de altura máxima, aberta em um dos lados, onde 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 contínuo e outro, final, em degraus, descarregando a vazão extravasada no reservatório da Barragem VI.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 39/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

O trecho final do canal a céu aberto é 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). O trecho final descrito no projeto executivo do 8º alteamento é formado por um canal em rampa com aproximadamente 66 metros de extensão e desnível de 32,36 metros, com 6 trechos de mesma base e alturas diferentes, sendo 2 trechos em galeria fechada (para permitir o tráfego de veículos sobre a estrutura), e 4 trechos em canal à céu aberto. Maiores detalhes sobre as estruturas constituintes do sistema extravasor operacional da Barragem I podem ser observados da Figura 6.10 a Figura 6.13.

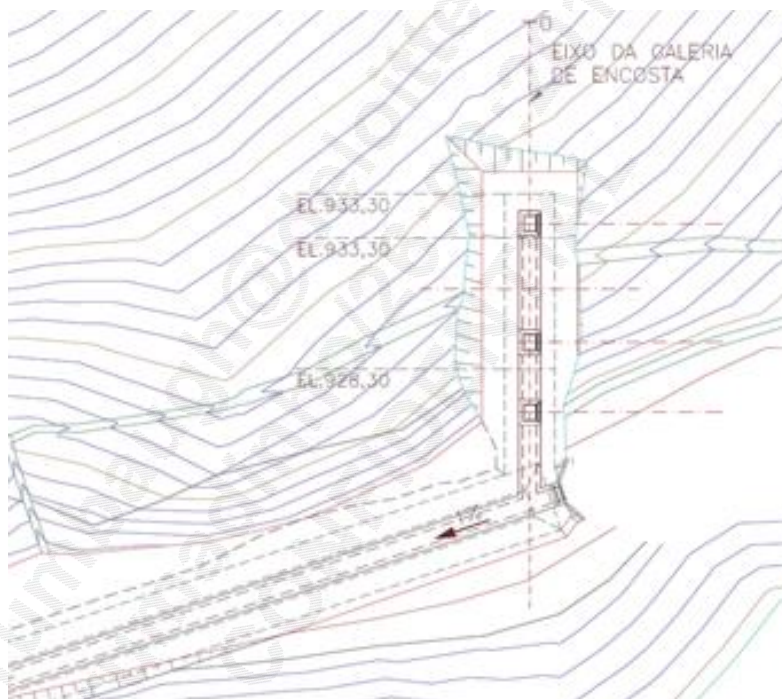


Figura 6.10 – Vista em planta das torres de queda do Projeto Executivo de implantação da galeria do sistema extravasor da Barragem I – 9º e 10º Alteamento.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 40/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

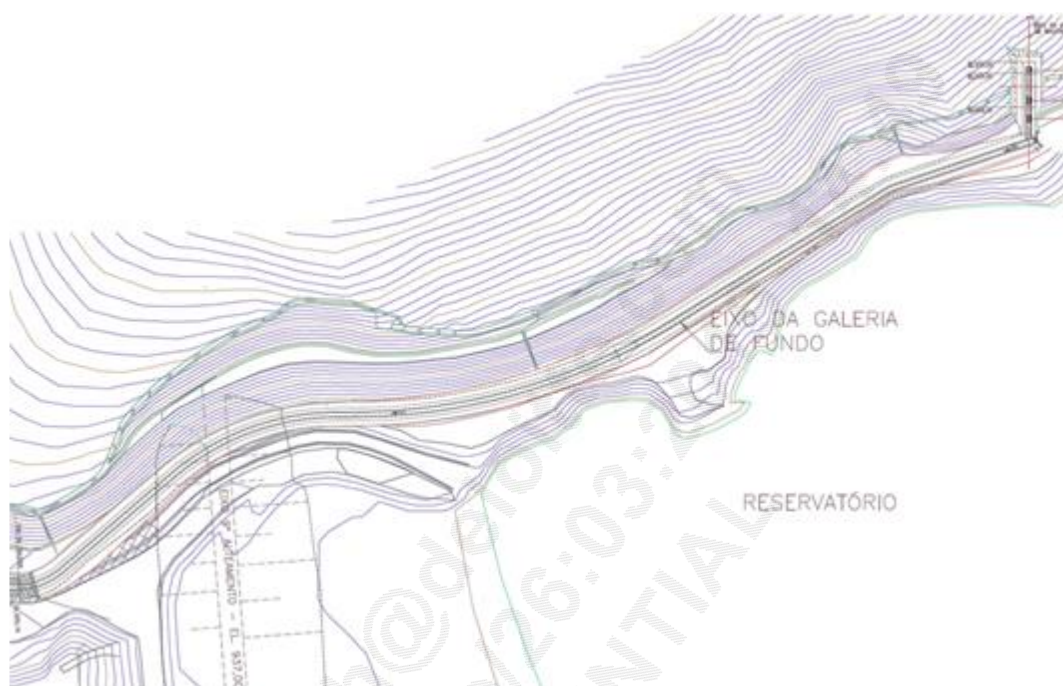


Figura 6.11 – Vista em planta da galeria de fundo do Projeto Executivo de implantação da galeria do sistema extravasor da Barragem I – 9º e 10º Alteamento.



Figura 6.12 – Vista em planta do trecho em canal e da ligação com o canal extravasor existente do Projeto Executivo de implantação da galeria do sistema extravasor da Barragem I – 9º e 10º Alteamento.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 41/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

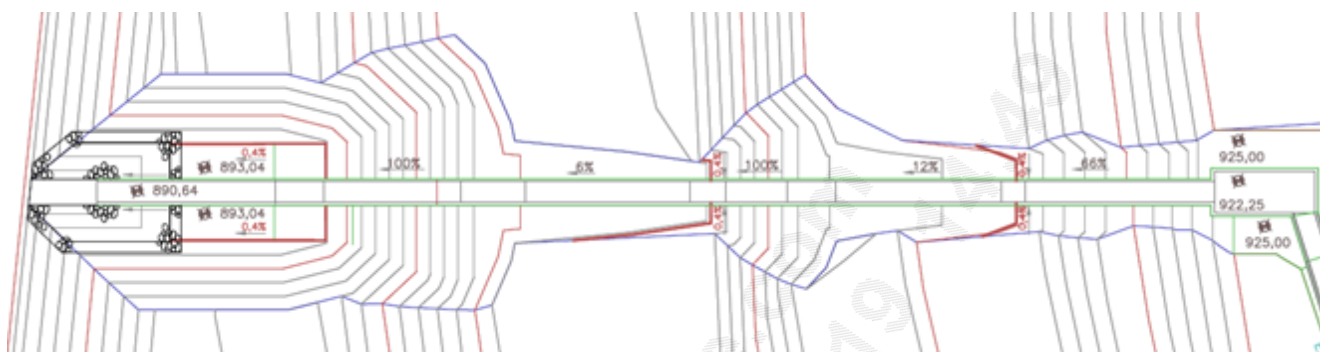


Figura 6.13 – Vista em planta do canal extravasor existente do Projeto Executivo do vertedouro da Barragem I – 8º Alçamento.

Foram construídas três torres 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. As torres possuem 1,20 m de largura, 1,00 m de profundidade e altura de 2,80 m para primeira torre e 5,50 m para as demais. De acordo com o “Manual de Operação da Barragem” elaborado pela GEOCONSULTORIA em 2016, o sistema extravasor foi dimensionado de maneira que apenas 1 torre esteja 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. A soleira vertente é erguida até uma elevação 1,00 m inferior a altura máxima da torre de queda, quando deve ser executada a laje de fundo da mesma, completando seu fechamento com concreto, evitando assim que o sistema seja comprometido pelo avanço do rejeito no reservatório e uma possível passagem de rejeitos para jusante. No local da concretagem da laje de fundo, há uma diminuição na seção transversal da torre, que passa a ter 1,00 m de largura e 0,80 m de profundidade. A galeria de encosta possui um trecho em degraus com 0,50 m de altura, 0,94 m de comprimento e 1,00 m de largura, que vence um desnível de 5,00 m, seguido pela galeria de fundo, com 1,00 m de largura, 1,20 m de altura e 1% de inclinação. Na Figura 6.14 e na Figura 6.15 estão apresentados maiores detalhes da estrutura.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 42/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

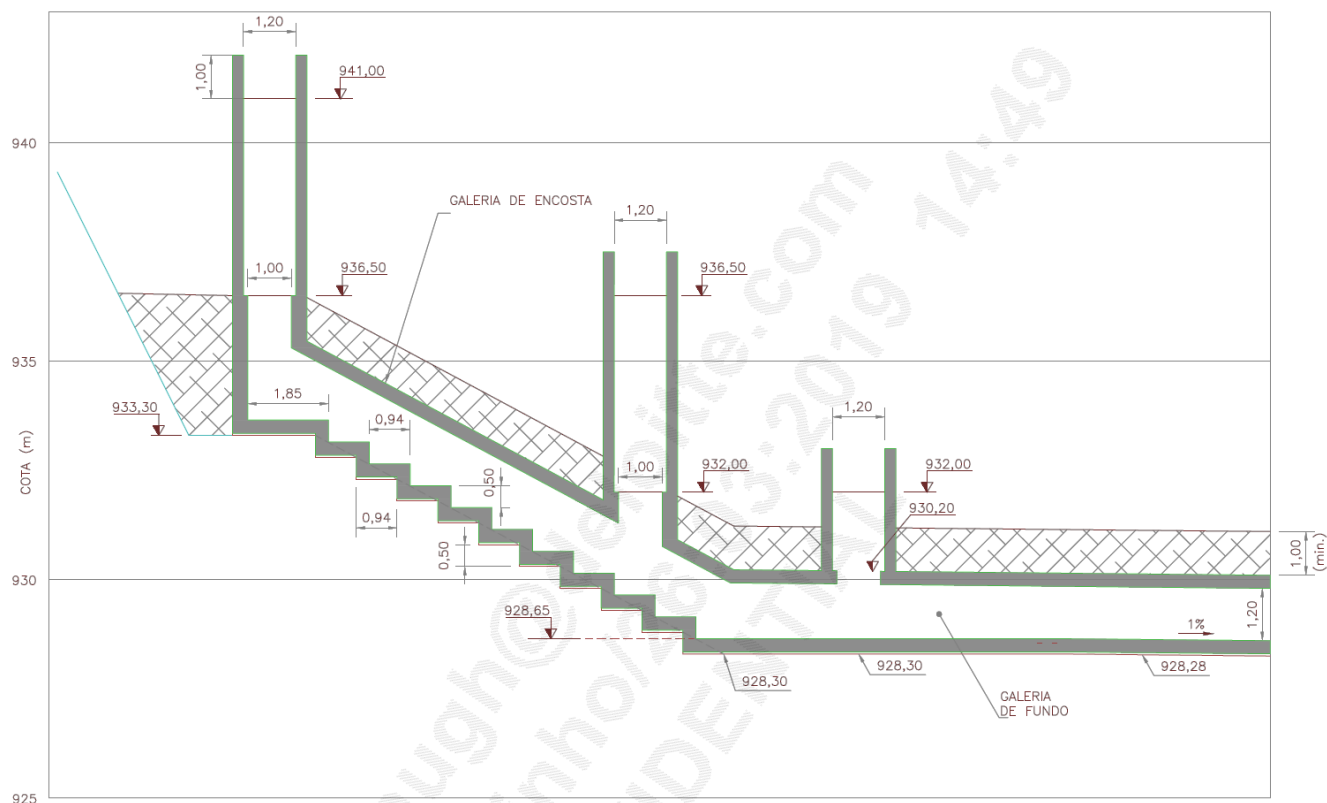


Figura 6.14 – Perfil das torres de queda e galeria de encosta do vertedor da Barragem I.

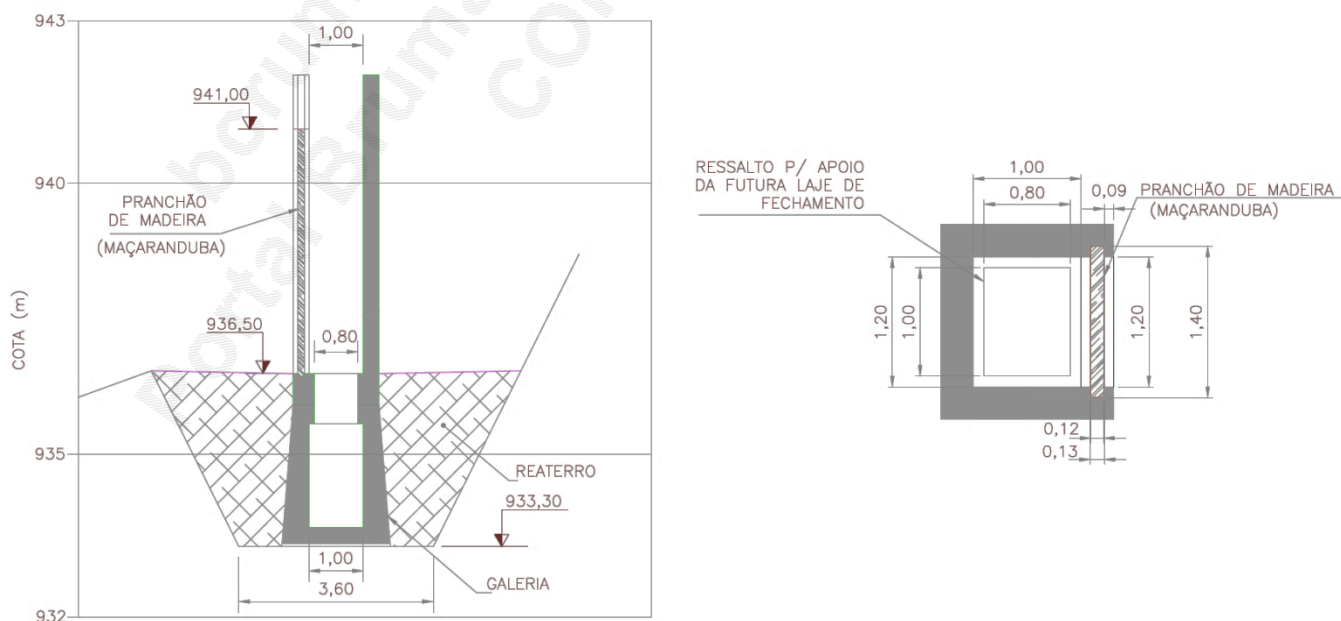


Figura 6.15 – Vista lateral e seção transversal da torre de queda e galeria de encosta do vertedor da Barragem I.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 43/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Apenas a segunda torre se encontra em operação, dado que a primeira está fechada e que o nível d'água não atinge a terceira. A situação do sistema em 2012 e 2015 pode ser observada nas Figura 6.16 e Figura 6.17, respectivamente.



Figura 6.16 – Torres de queda do extravasor da Barragem I (Fotos – visita - 2017).



Figura 6.17 – Torre 2 de queda do extravasor da Barragem I (Fotos visita - 2017).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 44/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

As torres de queda estão conectadas a uma galeria de fundo retangular, também em concreto, com 1,00 m de largura, 1,20 m de altura e declividade de 1%. A extensão da galeria é de aproximadamente 310 m, com entrada na EL. 928,63 m e saída na EL. 925,50 m. Maiores detalhes estão apresentados na Figura 6.18.

Na saída da galeria de fundo, há um canal retangular a céu aberto, com 1,00 m de largura e 1,50 m de altura, mantendo a declividade de 1% ao longo de, aproximadamente, 64,30 m, cujo perfil deste segmento pode ser observado na Figura 6.19. Este trecho em canal se encontra com um outro existente da estrutura do extravasor construído durante o 8º alteamento.

O trecho é constituído por seção retangular de 1,50 m de largura e altura variável (mínima de 1,00 m), com 65,75 m de extensão e desnível de 32,36 m. O rápido é dividido em 6 trechos distintos, conforme Tabela 6.28 a seguir. As declividades de fundo são variáveis (0,660 m/m, 0,120 m/m, 1,000 m/m, 0,060 m/m e 1,000 m/m) e os trechos são divididos em quatro de canal aberto e dois em galeria fechada. Ao fim deste, há uma bacia de dissipação retangular, de 15,00 m de extensão, 1,50 m de largura e 2,40 m de altura, com fundo plano na EL. 890,764 m. Maiores detalhes estão apresentados nas Figura 6.20 e Figura 6.21.

Tabela 6.28 – Diferentes trechos da parte já existente do sistema extravasor da Barragem I.

Trecho de Rápido Existente da Barragem I						
Trecho	Estaca inicial	Estaca final	Tipo	Seção	Largura	Altura
Trecho 1	5J+18,38	6J+0,63	Canal	Retangular	1,5	Var
Trecho 2	6J+0,63	6J+13,57	Canal	Retangular	1,5	1,2
Trecho 3	6J+13,57	7J+5,57	Galeria	Retangular	1,5	1,0
Trecho 4	7J+5,57	7J+16,15	Canal	Retangular	1,5	1,2
Trecho 5	7J+16,15	8J+8,10	Galeria	Retangular	1,5	1,0
Trecho 6	8J+8,10	9J+4,13	Canal	Retangular	1,5	1,2



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

45/265

REV.

4

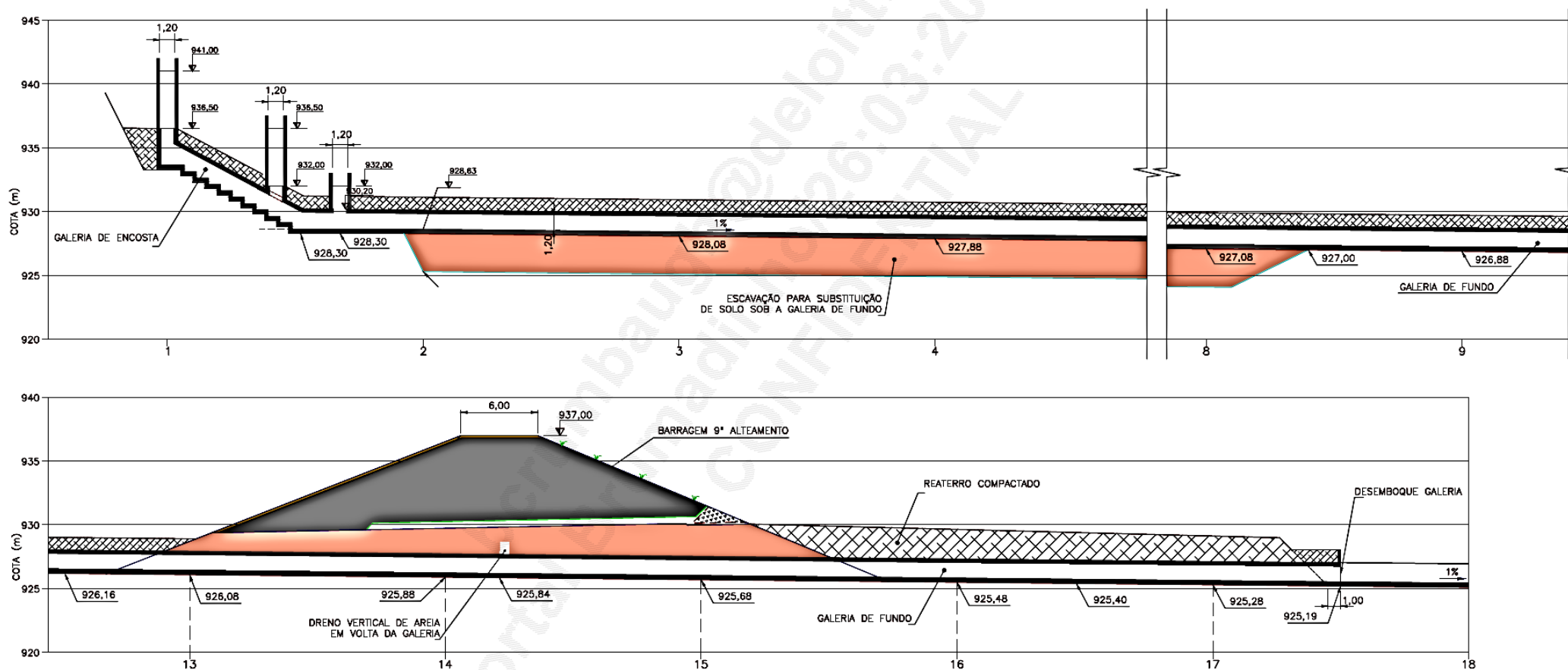


Figura 6.18 – Perfil da galeria de fundo do vertedor da Barragem I.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

46/265

REV.

4

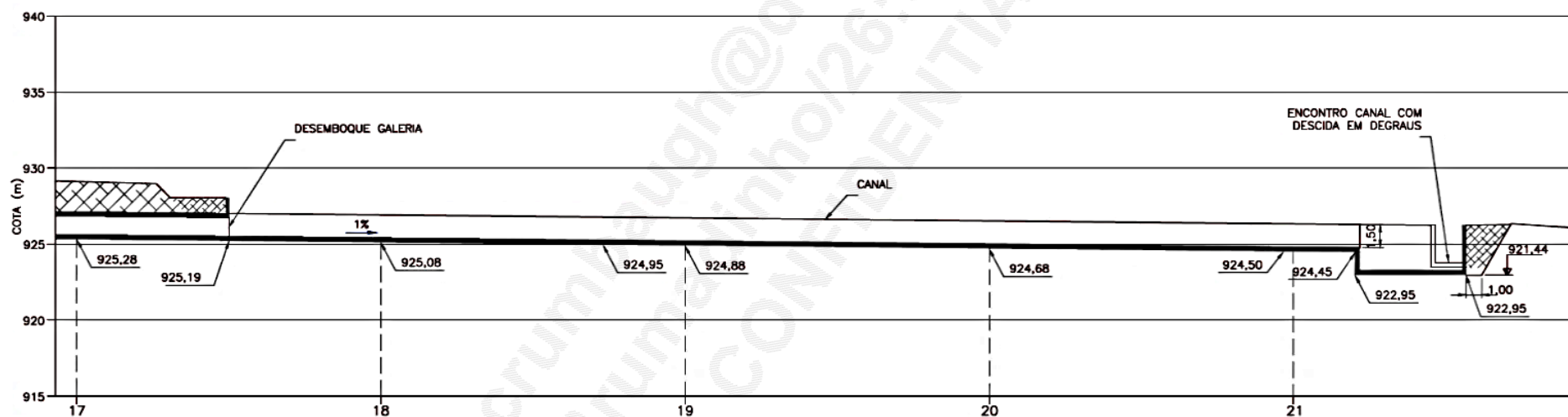


Figura 6.19 – Perfil do trecho em canal a céu aberto do vertedor da Barragem I.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

47/265

REV.

4

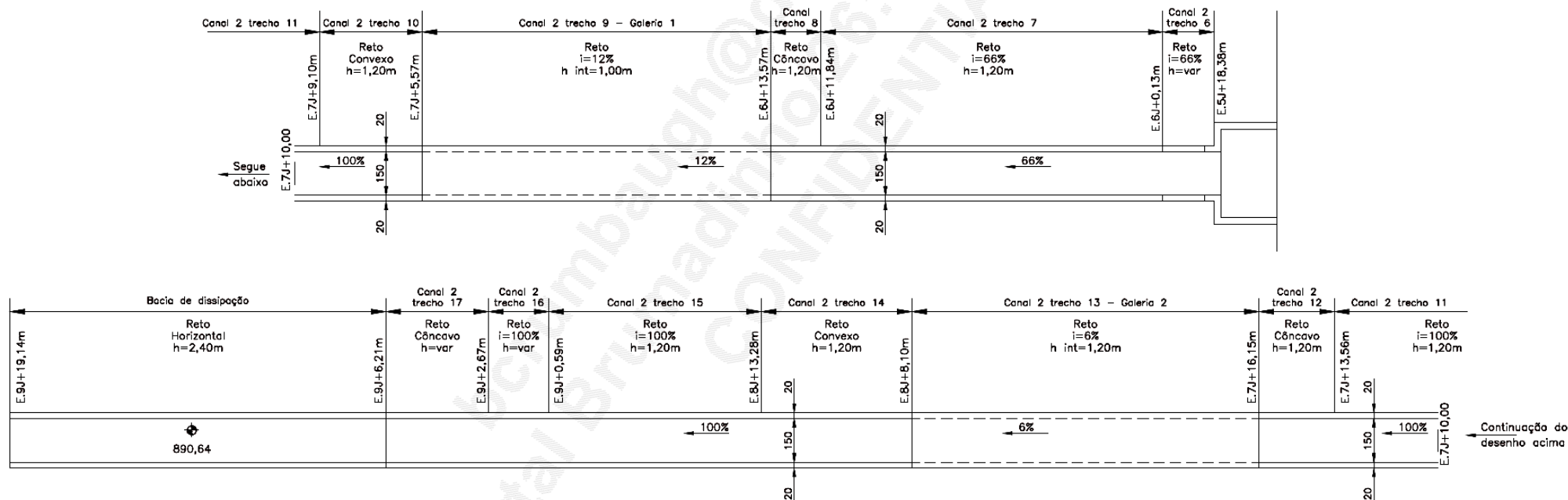


Figura 6.20 – Vista em planta do trecho em canal já existente do vertedor da Barragem I.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

48/265

REV.

4

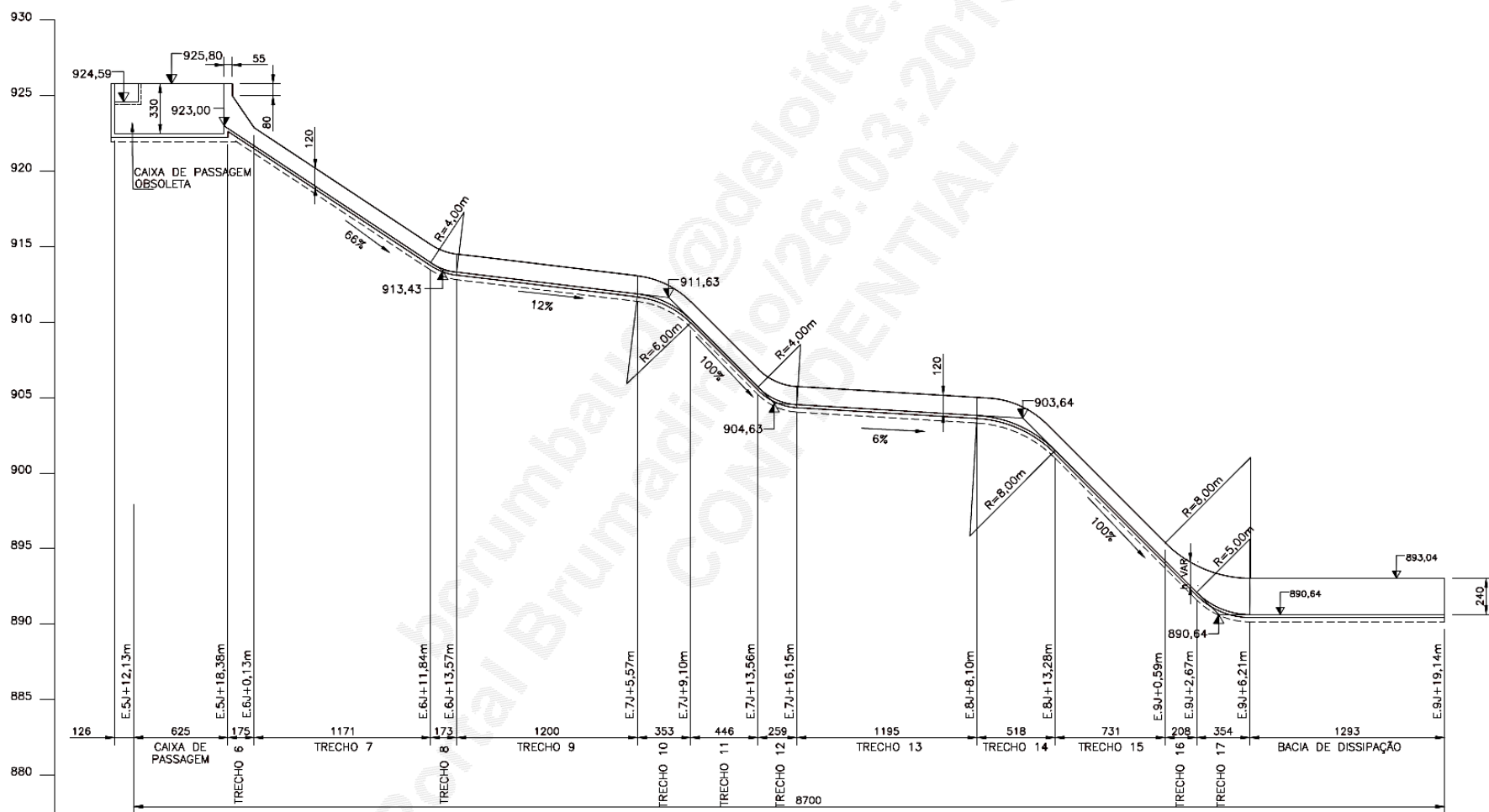


Figura 6.21 – Vista em perfil do trecho em canal já existente do vertedor da Barragem I.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 49/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

6.11 INSTRUMENTAÇÃO

O monitoramento geotécnico da Barragem I é realizado por 194 instrumentos ativos, sendo 93 piezômetros, 37 Indicadores de nível d'água, 7 marcos superficiais, 53 pontos de medição de vazão em saída de drenos, 1 medidor de vazão residual, 2 inclinômetros e 1 pluviômetro (instalado nas dependências da mina, próximo ao laboratório). Todos os instrumentos e seus registros de leitura estão cadastrados no sistema GEOTEC da VALE, Doc. [128].

Da Tabela 6.29 a Tabela 6.34 apresentam-se o cadastro de todos os instrumentos ativos e inativos utilizados para o monitoramento da estrutura, conforme obtido no Doc. [128]. Destaca-se que os instrumentos inativos se encontram sombreados nas tabelas e foram listados para conhecimento, tendo em vista que o seu histórico de leituras pode ser utilizado nas interpretações de comportamento.

Tabela 6.29 – Dados gerais dos pluviômetros cadastrados. Fonte: Doc. [128].

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota do Terreno	
PE - PLUVIÔMETRO ESCRITÓRIO	CFJPL001	7.776.099,835	591.489,681	885	SAD69
PLUV 01 - PRÓXIMO AO LABORATÓRIO	CFJPL002	7.773.594,2	591.858,5	816,8	SAD69
Pluviômetro Barragem 6	CFJPL003	7.775.138	591.560	885	SAD69

Tabela 6.30 – Dados gerais da régua de reservatório. Fonte: Doc. [128].

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota da Base	Cota do Topo	
Régua de Reservatório	CFJB1RR001	7.775.464	592.116	930	937	SAD69

Tabela 6.31 – Dados gerais dos Indicadores de nível d'água cadastrados. Fonte: Doc. [128].

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota do Terreno/ Cota de Fundo	
MNA 1C	CFJB1NA001	7.774.912,740	591.824,228	860,99/861,11	SAD69
MNA 14C	CFJB1NA002	7.775.108,490	591.822,160	898,69/874,79	SAD69
MNA 15C	CFJB1NA003	7.775.116,440	591.846,990	898,06/872,97	SAD69
MNA 2C	CFJB1NA004	7.774.928,090	591.842,574	868,43/855,09	SAD69
PZ 16C	CFJB1NA009	7.775.126,800	591.867,158	904,4/876,5	SAD69
INA1	CFJB1NA014	7.775.192,33	591.867,464	915,40/895,72	SAD69
INA2	CFJB1NA015	7.775.152,22	591.889,60	915,46/895,59	SAD69
INA3	CFJB1NA016	7.775.127,78	591.865,23	904,15/884,87	SAD69
INA5	CFJB1NA017	7.775.083,00	591.928,14	915,63/896,00	SAD69
INA6	CFJB1NA018	7.775.057,77	591.883,37	897,73/878,08	SAD69

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 50/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota do Terreno/ Cota de Fundo	
INA7	CFJB1NA019	7.775.026,09	591.979,85	922,00/901,26	SAD69
INA8	CFJB1NA020	7.774.993,15	591.918,49	898,04/878,10	SAD69
INA9	CFJB1NA021	7.774.909,27	592.045,45	922,40/902,64	SAD69
INA10	CFJB1NA022	7.774.881,42	592.003,19	922,40/885,41	SAD69
INA11	CFJB1NA023	7.775.286,48	591.850,42	920,86/906,09	SAD69
INA12	CFJB1NA024	7.775.285,01	591.830,08	915,54/905,91	SAD69
INA13	CFJB1NA025	7.774.885,41	592.142,91	930,36/910,33	SAD69
INA14	CFJB1NA026	7.774.868,36	592.136,58	923,26/913,21	SAD69
INA17	CFJB1NA027	7.774.933,11	592.083,27	897,72/876,44	SAD69
INA21	CFJB1NA028	7.775.005,34	591.930,82	904,62/884,42	SAD69
INA22	CFJB1NA029	7.775.100,59	591.789,78	890,01/884,26	SAD69
INA23	CFJB1NA030	7.774.868,00	591.957,89	893,15/887,4	SAD69
INA24	CFJB1NA031	7.775.289,09	591.894,96	937,19/929,14	SAD69
INA25	CFJB1NA032	7.775.225,05	591.921,80	937,25/929,21	SAD69
INA26	CFJB1NA033	7.775.183,23	591.944,95	937,28/929,32	SAD69
INA27	CFJB1NA034	7.775.113,71	591.983,53	937,28/929,36	SAD69
INA28	CFJB1NA035	7.775.048,80	592.019,31	937,20/929,28	SAD69
INA29	CFJB1NA036	7.774.934,70	592.085,12	937,18/929,21	SAD69
INA30	CFJB1NA037	7.774.906,52	592.150,12	937,26/929,27	SAD69
INA31	CFJB1NA038	7.775.290,71	591.914,30	942,57/937,78	SAD69
INA32	CFJB1NA039	7.775.235,41	591.940,15	942,51/937,68	SAD69
INA33	CFJB1NA040	7.775.193,14	591.963,72	942,55/937,65	SAD69
INA34	CFJB1NA041	7.775.123,87	592.002,00	942,61/937,65	SAD69
INA35	CFJB1NA042	7.775.058,64	592.037,99	942,53/937,54	SAD69
INA36	CFJB1NA043	7.774.946,41	592.103,72	942,58/937,64	SAD69
INA37	CFJB1NA044	7.774.924,800	592.159,332	942,58/937,62	SAD69
INA38	CFJB1NA045	7.774.895,00	592.242,795	942,65/937,82	SAD69
INA39	CFJB1NA046	7.775.122,25	591.774,68	897,81/893,29	SAD69
INA40	CFJB1NA047	7.775.071,12	591.801,84	898,00/895,71	SAD69
INA41	CFJB1NA048	7.775.007,24	591.838,57	898,37/895,9	SAD69
INA42	CFJB1NA049	7.774.824,29	591.940,82	898,51/893,51	SAD69
INA43	CFJB1NA050	7.774.987,14	591.916,65	898,2/896,12	SAD69

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 51/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.32 – Dados gerais dos piezômetros cadastrados. Fonte: Doc. [128].

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota do Terreno/ Cota de Fundo	
PZ 1C	CFJB1PZ001	7.774.912,83	591.824,36	860,61 / 856,06	SAD69
PZ 17C	CFJB1PZ002	7.775.187,57	591.854,504	910,416 / 900,58	SAD69
PZ 18C	CFJB1PZ003	7.775.184,33	591.849,012	909,094 / 898,64	SAD69
PZ 19C	CFJB1PZ004	7.775.176,72	591.834,786	904,504 / 887,73	SAD69
PZ 19C-1	CFJB1PZ005	7.775.178,31	591.833,938	904,01 / 887,285	SAD69
PZ 2C	CFJB1PZ006	7.774.928,15	591.842,985	869,09 / 855,09	SAD69
PZ 20C	CFJB1PZ007	7.775.121,44	591.884,396	909,827 / 900,67	SAD69
PZ 21C	CFJB1PZ008	7.775.074,04	591.916,29	910,306 / 901,18	SAD69
PZ 22C -	CFJB1PZ009	7.775.063,57	591.898,299	904,664 / 894,036	SAD69
PZ 22C-1	CFJB1PZ010	7.775.064,49	591.897,937	904,58 / 893,22	SAD69
PZ 23C	CFJB1PZ011	7.775.013,30	591.951,319	911,073 / 889,04	SAD69
PZ 24C	CFJB1PZ012	7.775.003,52	591.931,452	904,847 / 884,26	SAD69
PZ 25C	CFJB1PZ013	7.774.891,40	592.018,61	911,081 / 901,28	SAD69
PZ 26C	CFJB1PZ014	7.774.879,10	591.999,633	905,315 / 894,77	SAD69
PZ 27C	CFJB1PZ015	7.775.193,88	591.866,145	915,755 / 909,88	SAD69
PZ 28C	CFJB1PZ016	7.775.196,24	591.870,61	916,772 / 906,78	SAD69
PZ 29C	CFJB1PZ017	7.775.152,57	591.889,258	915,839 / 910,05	SAD69
PZ 30C	CFJB1PZ018	7.775.154,88	591.893,623	916,929 / 906,83	SAD69
PZ 31C	CFJB1PZ019	7.775.083,41	591.927,561	916,01 / 910,26	SAD69
PZ 32C	CFJB1PZ020	7.775.086,06	591.911,947	917,077 / 906,797	SAD69
PZ 33C	CFJB1PZ021	7.775.019,15	591.963,161	916,228 / 909,988	SAD69
PZ 34C	CFJB1PZ022	7.775.021,63	591.967,579	917,299 / 907,129	SAD69
PZ 35C	CFJB1PZ023	7.774.898,94	592.030,365	916,547 / 910,467	SAD69
PZ 36C	CFJB1PZ024	7.774.901,70	592.034,548	917,376 / 907,77	SAD69
PZ 37C	CFJB1PZ025	7.775.202,56	591.882,021	921,891 / 916,141	SAD69
PZ 38C	CFJB1PZ026	7.775.204,45	591.885,528	921,195 / 913,95	SAD69
PZ 39C	CFJB1PZ027	7.775.160,92	591.905,198	922,076 / 916,306	SAD69
PZ 40C	CFJB1PZ028	7.775.162,69	591.908,802	922,228 / 913,798	SAD69
PZ 41C	CFJB1PZ029	7.775.091,70	591.943,73	922,373 / 916,723	SAD69
PZ 42C	CFJB1PZ030	7.775.093,45	591.947,274	922,494 / 913,564	SAD69
PZ 43C	CFJB1PZ031	7.775.027,07	591.979,532	922,464 / 917,61	SAD69
PZ 44C	CFJB1PZ032	7.775.028,70	591.986,433	922,536 / 914,42	SAD69
PZ 45C	CFJB1PZ033	7.774.909,29	592.045,884	922,75 / 917,83	SAD69

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 52/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota do Terreno/ Cota de Fundo	
PZ 45C-1	CFJB1PZ034	7.774.909,29	592.045,884	917,83 / 917,83	SAD69
PZ 46C	CFJB1PZ035	7.774.911,49	592.049,316	922,985 / 914,81	SAD69
PZ 47C	CFJB1PZ036	7.775.215,95	591.905,628	929,195 / 909,725	SAD69
PZ 48C	CFJB1PZ037	7.775.174,19	591.928,983	929,3 / 908,9	SAD69
PZ 49C	CFJB1PZ038	7.775.104,82	591.967,352	929,581 / 910,521	SAD69
PZ 50C	CFJB1PZ039	7.775.040,02	592.003,451	929,663 / 909,123	SAD69
PZ 51C	CFJB1PZ040	7.774.924,56	592.069,148	929,797 / 10,197	SAD69
PZ 52C	CFJB1PZ041	7.775.213,69	591.901,795	929,361 / 923,531	SAD69
PZ 53C	CFJB1PZ042	7.775.102,81	591.963,973	929,56 / 923,841	SAD69
PZ 54C	CFJB1PZ043	7.774.921,56	592.065,77	929,945 / 924,115	SAD69
PZC 19B	CFJB1PZ044	7.774.938,74	591.847,952	871,268 / 858,268	SAD69
PZC 19C	CFJB1PZ045	7.774.935,57	591.850,319	871,267 / 853,267	SAD69
PZC 20B	CFJB1PZ046	7.774.957,89	591.809,018	871,878 / 861,878	SAD69
PZC 20C	CFJB1PZ047	7.774.955,73	591.812,302	871,954 / 856,954	SAD69
PZC 21	CFJB1PZ048	7.775.162,41	591.783,778	893,68 / 878,624	SAD69
PZC 22	CFJB1PZ049	7.775.103,86	591.812,232	898,69 / 883,49	SAD69
PZC 23	CFJB1PZ050	7.775.107,01	591.811,454	898,64 / 877,872	SAD69
PZC 24	CFJB1PZ051	7.775.097,68	591.790,466	889,93 / 875,114	SAD69
PZC 25	CFJB1PZ052	7.774.854,07	591.939,477	885,276 / 874,088	SAD69
PZF 1 -	CFJB1PZ053	7.775.154,56	591.762,49	885,23 / 877,11	SAD69
PZF 11	CFJB1PZ054	7.775.905,88	591.552,971	862,72 / 852,22	SAD69
PZF 11-1	CFJB1PZ055	7.774.921,09	591.834,289	862,72 / 851,86	SAD69
PZF 13	CFJB1PZ056	7.774.932,93	591.848,198	871,46 / 852,54	SAD69
PZF 19	CFJB1PZ057	7.774.852,03	591.941,127	885,06 / 878,71	SAD69
PZF 23	CFJB1PZ058	7.774.878,84	591.893,585	873,938 / 863,65	SAD69
PZF 5	CFJB1PZ059	7.775.074,96	591.762,347	875,389 / 869,1	SAD69
PZM 06	CFJB1PZ060	7.775.029,21	591.765,179	871,677 / 864,59	SAD69
PZM 10	CFJB1PZ061	7.775.046,89	591.826,62	898,69 / 889,95	SAD69
PZM 14 -	CFJB1PZ062	7.774.941,12	591.859,256	877,06 / 860,06	SAD69
PZM 15	CFJB1PZ063	7.774.950,83	591.872,013	884,9 / 872,88	SAD69
PZM 16	CFJB1PZ064	7.774.979,40	591.828,655	884,9 / 872,79	SAD69
PZM 17	CFJB1PZ065	7.774.964,24	591.889,802	893,42 / 871,9	SAD69
PZM 2	CFJB1PZ066	7.775.157,80	591.774,29	890 / 880,74	SAD69
PZM 20	CFJB1PZ067	7.774.859,07	591.951,312	890 / 882,35	SAD69

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 53/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota do Terreno/ Cota de Fundo	
PZM 22 -	CFJB1PZ068	7.774.872,05	591.973,561	898,3 / 889,835	SAD69
PZM 4	CFJB1PZ069	7.775.164,01	591.796,826	898,9 / 890,06	SAD69
PZM 7	CFJB1PZ070	7.775.038,46	591.793,253	885,1 / 873,11	SAD69
PZM 9	CFJB1PZ071	7.775.043,30	591.814,613	853 / 871,11	SAD69
PZ 26	CFJB1PZ072	7.775.290,07	591.894,926	937,175 / 925,145	SAD69
PZ 27	CFJB1PZ073	7.775.226,01	591.921,302	937,257 / 925,217	SAD69
PZ 28	CFJB1PZ074	7.775.048,80	592.019,309	937,202 / 931,142	SAD69
PZ 29	CFJB1PZ075	7.775.114,54	591.983,088	937,272 / 925,402	SAD69
PZ 30	CFJB1PZ076	7.775.049,75	592.018,748	937,208 / 925,298	SAD69
PZ 31	CFJB1PZ077	7.774.935,41	592.084,507	937,175 / 925,195	SAD69
PZ 32	CFJB1PZ078	7.774.905,91	592.150,961	937,258 / 925,238	SAD69
PZ 3C - N/A	CFJB1PZ079	7.774.943,18	591.861,776	878,307 / 857,89	SAD69
PZ 11C - N/A	CFJB1PZ080	7.775.082,03	91.752,528	875,401 / 853,23	SAD69
PZ 12C - N/A	CFJB1PZ081	7.775.090,89	591.775,416	882,943 / 860,82	SAD69
PZ 13C - N/A	CFJB1PZ082	7.775.100,22	591.800,133	893,515 / 871,17	SAD69
PZ 14C-1 - N/A	CFJB1PZ083	7.775.107,78	591.822,256	898,224 / 874,154	SAD69
PZ 4C - N/A 20	CFJB1PZ084	7.774.958,19	591.880,975	889,544 / 861,15	SAD69
PZ 5C - N/A	CFJB1PZ085	7.774.975,52	591.903,53	898,677 / 862,01	SAD69
PZ 6C - N/A	CFJB1PZ086	7.774.988,50	591.919,89	898,244 / 861,39	SAD69
PZC 33	CFJB1PZ087	7.775.290,38	591.907,763	940,152 / 935,437	SAD69
PZC 34	CFJB1PZ088	7.775.231,95	591.934,295	940,255 / 935,559	SAD69
PZC 35	CFJB1PZ089	7.775.189,95	591.957,817	940,199 / 935,432	SAD69
PZC 36	CFJB1PZ090	7.775.121,51	591.995,795	940,199 / 935,51	SAD69
PZC 37	CFJB1PZ091	7.775.055,86	592.032,012	939,906 / 935,285	SAD69
PZC 38	CFJB1PZ092	7.774.942,57	592.098,053	940,105 / 935,332	SAD69
PZC 39	CFJB1PZ093	7.774.918,74	592.157,244	940,108 / 935,336	SAD69
PZC 40	CFJB1PZ094	7.774.888,93	592.240,268	940,212 / 935,476	SAD69
PZC-41	CFJB1PZ095	7.774.969,62	591.806,67	901,57 / 871,16	SAD69
PZC-42	CFJB1PZ096	7.774.896,46	591.882,66	898,91 / 868,41	SAD69
PZC-43	CFJB1PZ097	7.774.874,89	591.786,66	864,43 / 844,35	SAD69
PZC-44 El.	CFJB1PZ098	7.774.854,03	591.811,89	866,42 / 843,21	SAD69
PZC-45	CFJB1PZ099	7.774.895,82	591.755,51	865,93 / 845,44	SAD69
PZC-46	CFJB1PZ100	7.774.868,93	591.758,05	855,63 / 837,67	SAD69
PZC-47	CFJB1PZ101	7.774.876,01	591.741,7	857,34 / 840,38	SAD69

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 54/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 6.33 – Dados gerais dos marcos topográficos. Fonte: Doc. [128].

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota do Terreno
-	CFJB1MP001	7.775.290,113	591.895,571	937,194
-	CFJB1MP002	7.775.219,290	591.924,489	936,914
-	CFJB1MP003	7.775.168,510	591.953,615	937,10
-	CFJB1MP004	7.775.119,508	591.982,693	938,111
-	CFJB1MP005	7.775.049,091	592.022,157	938,101
-	CFJB1MP006	7.774.935,241	592.088,378	937,976
-	CFJB1MP007	7.774.908,598	592.143,153	937,067
MT-01 BI	MT-01 BI	7.775.289,864	591.895,802	936,936
MT-02 BI	MT-02 BI	7.775.219,062	591.924,699	936,674
MT-03 BI	MT-03 BI	7.775.168,28	591.953,833	936,839
MT-04 BI	MT-04 BI	7.775.119,277	591.982,926	937,802
MT-05 BI	MT-05 BI	7.775.048,877	592.022,371	937,788
MT-06 BI	MT-06 BI	7.774.935,019	592.088,572	937,709
MT-07 BI	MT-07 BI	7.774.908,312	592.143,73	936,825

Tabela 6.34 - Lista de medidores de vazão cadastrados. (Fonte: Doc. [128]).

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota do Terreno	
D1	CFJB1 MI001	7.775.136,238	591.776,516	888,25	SAD69
D10	CFJB1 MI002	7.775.071,190	591.875,585	897,275	SAD69
D11	CFJB1 MI003	7.774.977,764	591.927,038	897,629	LOCAL
D12	CFJB1 MI004	7.774.977,764	591.927,038	897,629	SAD69
D13	CFJB1 MI005	7.775.140,541	591.793,636	894,801	SAD69
D14	CFJB1 MI006	7.774.997,552	591.852,395	894,959	SAD69
D15	CFJB1 MI007	7.774.917,726	591.929,739	894,801	SAD69
D16	CFJB1 MI008	7.775.207,255	591.801,754	898,983	SAD69
D17	CFJB1 MI009	7.775.164,982	591.821,819	897,377	SAD69
D18	CFJB1 MI010	7.775.118,140	591.848,513	898,078	LOCAL
D19	CFJB1 MI011	7.775.077,208	591.872,133	897,568	SAD69
D2	CFJB1 MI012	7.775.038,371	591.802,089	887,619	SAD69
D20	CFJB1 MI013	7.775.053,757	591.884,620	897,723	SAD69
D21	CFJB1 MI014	7.775.033,979	591.895,499	897,886	SAD69
D22	CFJB1 MI015	7.775.015,71	591.905,39	897,971	SAD69
D23	CFJB1 MI016	7.774.997,11	591.915,86	898,04	SAD69
D24	CFJB1 MI017	7.774.986,64	591.921,72	898,013	SAD69
D25	CFJB1 MI018	7.774.936,58	591.948,80	897,986	SAD69
D26	CFJB1 MI019	7.774.884,92	591.977,06	897,72	SAD69

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 55/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Nomenclatura Campo	Código do instrumento	Coordenada Norte	Coordenada Leste	Cota do Terreno	
D27	CFJB1 MI020	7.775.242,57	591.801,49	904,307	SAD69
D28	CFJB1 MI021	7775.184,260	591.832,874	904,132	SAD69
D29	CFJB1 MI022	7.775.140,724	591.857,518	904,223	SAD69
D3	CFJB1 MI023	7.774.953,108	591.951,598	887,983	SAD69
D30	CFJB1 MI024	7.775.097,150	591.882,185	904,296	SAD69
D31	CFJB1 MI025	7.775.053,918	591.906,125	904,293	SAD69
D32	CFJB1 MI026	7.775.010,986	591.930,105	904,544	SAD69
D33	CFJB1 MI027	7.775.132,716	591.882,219	909,077	SAD69
D34	CFJB1 MI028	7.775.032,489	591.936,774	909,148	SAD69
D35	CFJB1 MI029	7.774.965,235	591.973,373	909,556	SAD69
D36	CFJB1 MI030	7.774.852,353	592.071,037	910,110	SAD69
D37	CFJB1 MI031	7.774.849,355	592.070,978	910,172	SAD69
D4	CFJB1 MI032	7.774.856,570	591.949,703	887,936	SAD69
D5	CFJB1 MI033	7.774.975,606	591.825,581	882,039	SAD69
D6	CFJB1 MI034	7.774.883,227	591.889,392	872,872	SAD69
D7	CFJB1 MI035	7.774.876,48	591.897,67	874,095	SAD69
D8	CFJB1 MI036	7.775.071,47	591.762,10	875,148	SAD69
D9	CFJB1 MI037	7.775.157,77	591.827,20	896,9	SAD69
PS1	CFJB1 MI038	7.775.136,24	591.776,52	890,259	SAD69
PS1A	CFJB1 MI039	7.775.170,85	591.783,96	893,693	SAD69
PS2	CFJB1 MI040	7.775.088,83	591.795,25	889,884	SAD69
PS2A	CFJB1 MI041	7.775.121,343	591.796,816	893,381	SAD69
PS3A	CFJB1 MI042	7.775.074,653	591.809,169	893,373	SAD69
PS4	CFJB1 MI043	7.774.994,579	591.834,321	890,884	SAD69
PS4A	CFJB1 MI044	7.775.025,441	591.822,120	893,403	SAD69
PS5	CFJB1 MI045	7.774.957,705	591.885,965	889,897	SAD69
PS5A	CFJB1 MI046	7.774.989,460	591.861,864	893,435	SAD69
PS6	CFJB1 MI047	7.774.906,432	591.921,880	889,562	SAD69
PS6A	CFJB1 MI048	7.774.958,771	591.896,883	893,352	SAD69
PS7	CFJB1 MI049	7.774.860,077	591.954,861	889,794	SAD69
PS7A	CFJB1 MI050	7.774.917,519	591.926,046	893,142	SAD69
PS8	CFJB1 MI051	7.774.813,346	591.988,165	890,346	SAD69
PS8A	CFJB1 MI052	7.774.875,786	591.955,249	893,107	SAD69
PS9A	CFJB1 MI053	7.774.836,259	591.983,126	893,458	SAD69
Vazão residual	CFJBGMO003	7.775.382	591.684	898	SAD69

O Apêndice D apresenta os gráficos com leituras dos instrumentos instalados na Barragem I: indicadores de nível d'água, piezômetros, marcos superficiais e medidores de vazão.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 56/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

6.12 RESERVATÓRIO

As informações topográficas utilizadas para extração das áreas (por elevação) e cálculo do volume do reservatório foram disponibilizadas pela VALE e estão listadas na Tabela 6.35.

Tabela 6.35 – Informações topográficas empregadas.

Estrutura	Arquivo	Descrição
Barragem I	minasgerais_jangada_curvanivel_In_01_clip_recorte_Paraopeba3_Feijao_1_gen	Perfilhamento a laser fornecidos pela VALE com curvas de nível de 1 em 1 metro, compostos, ano 2016.
	gmi_qfer_fis_top_In_toporestituicaoriginalj_angadacorregodofeijao1966.shp	Topografia primitiva do vale com curva de nível de 1 em 1 metro.
	Planta Completa_Barragem 1 - Feijão_CN.dwg	Levantamento Topobatimétrico Barragem I – Córrego do Feijão, 11/08/2016

Conforme pode-se observar na Tabela 6.36 e na Figura 6.22, o volume de armazenamento até a crista é de 8,8 Mm³, o volume de sólidos de 7,5 Mm³ e o volume de trânsito de cheias igual a 1,3 Mm³.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 57/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

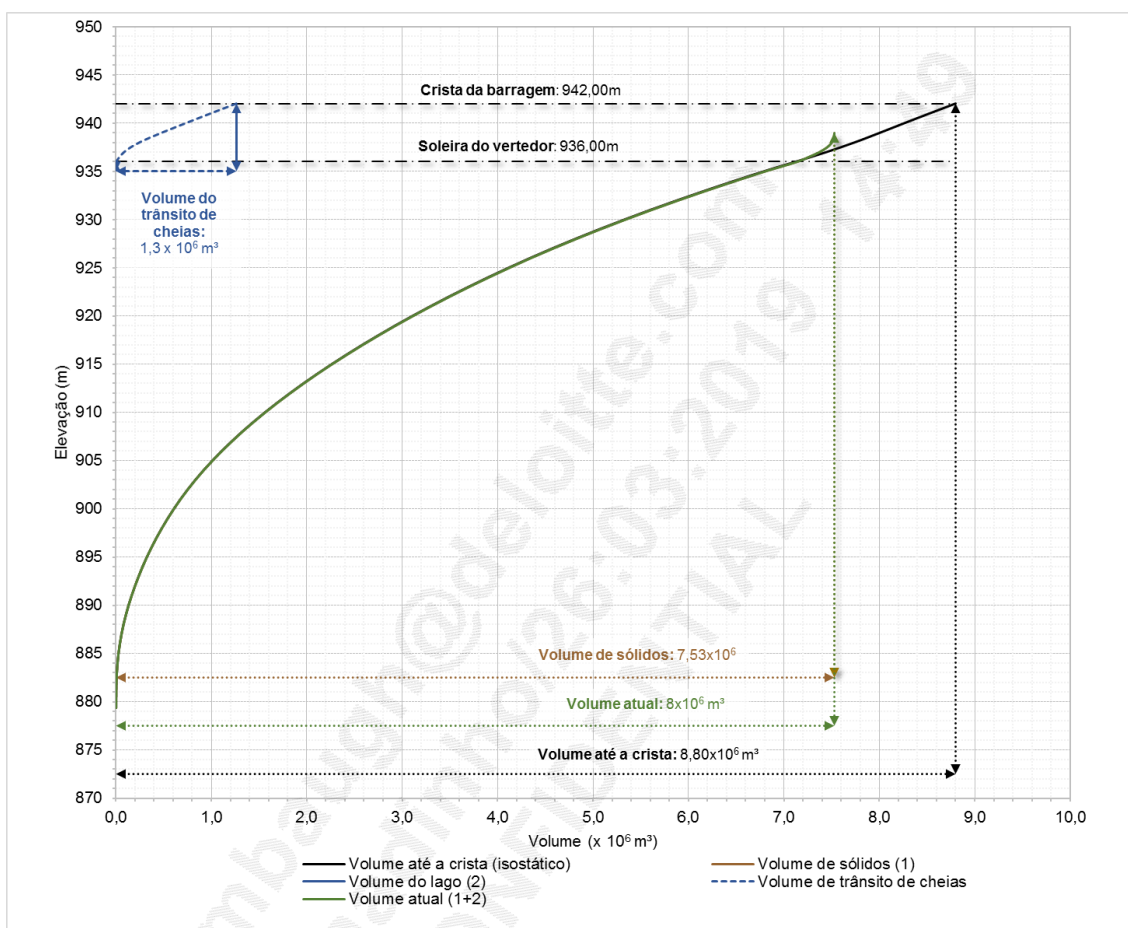


Figura 6.22 – Curva cota-volume do reservatório da Barragem I.

Tabela 6.36 – Curva cota-volume do reservatório da Barragem I.

Volume até a crista (isostático)		Volume de sólidos (1)		Volume do lago (2)		Volume de trânsito de cheias		Volume atual (1+2)	
Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)
879,35	0	879,35	0	879,35	0	879,35	0	879,35	0
880	130	880	130	880	0	880	0	880	130
881	1.061	881	1.061	881	0	881	0	881	1.061
882	3.383	882	3.383	882	0	882	0	882	3.383
883	7.778	883	7.778	883	0	883	0	883	7.778
884	14.834	884	14.834	884	0	884	0	884	14.834
885	25.220	885	25.220	885	0	885	0	885	25.220
886	39.188	886	39.188	886	0	886	0	886	39.188
887	56.615	887	56.615	887	0	887	0	887	56.615
888	77.652	888	77.652	888	0	888	0	888	77.652
889	102.434	889	102.434	889	0	889	0	889	102.434
890	131.109	890	131.109	890	0	890	0	890	131.109
891	163.228	891	163.228	891	0	891	0	891	163.228

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 58/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Volume até a crista (isostático)		Volume de sólidos (1)		Volume do lago (2)		Volume de trânsito de cheias		Volume atual (1+2)	
Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)
892	198.307	892	198.307	892	0	892	0	892	198.307
893	236.485	893	236.485	893	0	893	0	893	236.485
894	277.912	894	277.912	894	0	894	0	894	277.912
895	322.820	895	322.820	895	0	895	0	895	322.820
896	371.445	896	371.445	896	0	896	0	896	371.445
897	423.913	897	423.913	897	0	897	0	897	423.913
898	480.351	898	480.351	898	0	898	0	898	480.351
899	540.995	899	540.995	899	0	899	0	899	540.995
900	605.829	900	605.829	900	0	900	0	900	605.829
901	675.500	901	675.500	901	0	901	0	901	675.500
902	750.565	902	750.565	902	0	902	0	902	750.565
903	831.216	903	831.216	903	0	903	0	903	831.216
904	917.667	904	917.667	904	0	904	0	904	917.667
905	1.010.130	905	1.010.130	905	0	905	0	905	1.010.130
906	1.108.540	906	1.108.540	906	0	906	0	906	1.108.540
907	1.212.780	907	1.212.780	907	0	907	0	907	1.212.780
908	1.322.963	908	1.322.963	908	0	908	0	908	1.322.963
909	1.439.202	909	1.439.202	909	0	909	0	909	1.439.202
910	1.561.628	910	1.561.628	910	0	910	0	910	1.561.628
911	1.690.054	911	1.690.054	911	0	911	0	911	1.690.054
912	1.824.187	912	1.824.187	912	0	912	0	912	1.824.187
913	1.964.100	913	1.964.100	913	0	913	0	913	1.964.100
914	2.109.863	914	2.109.863	914	0	914	0	914	2.109.863
915	2.261.559	915	2.261.559	915	0	915	0	915	2.261.559
916	2.419.127	916	2.419.127	916	0	916	0	916	2.419.127
917	2.582.535	917	2.582.535	917	0	917	0	917	2.582.535
918	2.751.879	918	2.751.879	918	0	918	0	918	2.751.879
919	2.927.250	919	2.927.250	919	0	919	0	919	2.927.250
920	3.108.736	920	3.108.736	920	0	920	0	920	3.108.736
921	3.296.625	921	3.296.625	921	0	921	0	921	3.296.625
922	3.491.269	922	3.491.269	922	0	922	0	922	3.491.269
923	3.692.840	923	3.692.840	923	0	923	0	923	3.692.840
924	3.901.517	924	3.901.517	924	0	924	0	924	3.901.517
925	4.117.478	925	4.117.478	925	0	925	0	925	4.117.478
926	4.341.797	926	4.341.797	926	0	926	0	926	4.341.797
927	4.575.480	927	4.575.480	927	0	927	0	927	4.575.480
928	4.818.614	928	4.818.614	928	0	928	0	928	4.818.614
929	5.071.299	929	5.071.299	929	0	929	0	929	5.071.299
930	5.333.642	930	5.333.642	930	0	930	0	930	5.333.642
931	5.605.960	931	5.605.960	931	0	931	0	931	5.605.960
932	5.888.432	932	5.888.432	932	0	932	0	932	5.888.432
933	6.180.987	933	6.180.987	933	0	933	0	933	6.180.987

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 59/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Volume até a crista (isostático)		Volume de sólidos (1)		Volume do lago (2)		Volume de trânsito de cheias		Volume atual (1+2)	
Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Volume (m³)
934	6.483.588	934	6.483.588	934	0	934	0	934	6.483.588
935	6.796.232	935	6.796.232	935	0	935	0	935	6.796.232
936	7.132.737	936	7.132.737	936	0	936	0	936	7.132.737
936,5	7.293.486	936,5	7.257.977	936,5		937	35.509	936,5	7.257.977
937	7.452.918	937	7.368.604	937		937	84.314	937	7.368.604
937,5	7.604.813	937,5	7.450.227	937,5		938	154.586	937,5	7.450.227
938	7.747.244	938	7.500.228	938		938	247.016	938	7.500.228
938,5	7.880.955	938,5	7.521.641	938,5		939	359.315	938,5	7.521.641
939	8.010.699	939	7.529.033	939		939	481.667	939	7.529.033
939,5	8.138.926	939,5		939,5		939,5	609.893	939,5	7.529.033
940	8.268.210	940		940		940	739.177	940	7.529.033
940,5	8.398.595	940,5		940,5		940,5	869.562	940,5	7.529.033
941	8.530.097	941		941		941	1.001.064	941	7.529.033
941,5	8.662.913	941,5		941,5		941,5	1.133.880	941,5	7.529.033
942	8.797.136	942		942		942	1.268.103	942	7.529.033

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 60/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

6.13 RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM – FICHA TÉCNICA

Os principais dados da Barragem I são apresentados na Tabela 6.37.

Tabela 6.37 – Resumo de características gerais - Barragem I. Fonte: Doc. [81].

Características Gerais			
Coordenadas UTM:	Norte: 7.775.080		Este: 591.955
Classificação:	Classe B (DNPM - Portaria n º 70.389/2017)		
Finalidade:	Contenção de Rejeitos e Recirculação de água		
Início de Operação:	1976	Final da vida útil:	
Tipo de Seção:	Dique inicial: solo compactado; Alteamentos: solo compactado ou rejeito		
Tipo de Fundação:	Os diques de alteamentos assentam-se na praia de rejeitos em sua porção central e nas ombreiras são apoiados em solo residual ou saprolítico		
Curso de Água Barrado:	Afluente da margem esquerda do Ribeirão Ferro-Carvão		
Projetista:	Maciço Inicial: CHRISTOPH ERB 2º Alteamento: TECNOSAN 3º Alteamento: RIAD CHAMMAS 4º a 8º Alteamentos: TECNOSOLO 9º e 10º Alteamentos: GEOCONSULTORIA		
Método de Alteamento:	Montante		
Número de Alteamentos Previstos:	10	Alteamentos Realizados:	10
Volume de Projeto do Reservatório (m³):	8.797.136		
Volume Atual do Reservatório (m³):	7.529.033		
Elevação de Projeto (m):	942,0		
Elevação Atual da Crista (m):	942,0		
Comprimento da Crista (m):	720,0		
Altura Máxima de Projeto (m):	86,0		
Altura Máxima Atual (m):	86,0		
Drenagem Interna:	Dique inicial e alteamentos até El. 889 m sem drenagem interna; Acima da El. 889 m presença de filtro vertical e/ou tapete drenante na base dos alteamentos		
Drenagem Superficial	Canaletas e Descidas d'água		
Sistema Extravisor	Sistema de 03 torres (01 já foi tamponada), interligadas a uma galeria de fundo conectada a um canal à céu aberto, descarregando na barragem B VI.		

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 61/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

7 ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE MONITORAMENTO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Em 2016, a Geoconsultoria atualizou o Manual de Operação da Barragem I, Doc. [171]. Este documento tem como objetivo estabelecer os procedimentos de operação, manutenção, monitoramento e inspeções de segurança, além de atribuir responsabilidades aos profissionais da VALE.

A correta execução destes procedimentos é necessária para atingir os seguintes objetivos:

- Permanência da estabilidade das estruturas ao longo do tempo;
- Liberação de efluente em condições ambientalmente satisfatórias;
- O atendimento aos padrões de qualidade estabelecidos pela VALE e pelos órgãos reguladores e licenciadores das condições de operacionalidade e segurança dos componentes da estrutura.

O Manual de operação indica que revisões e melhorias contínuas devem ser realizadas a cada dois anos e sempre que houver mudanças nas características da barragem ou das condições de operação, em comum acordo com a projetista e o responsável técnico pelas estruturas componentes.

A atribuição de atividades e responsabilidades é realizada no próprio Manual de Operação, entretanto está desatualizada. Desta forma, estas informações foram obtidas no Relatório de Auditoria Técnica de Segurança, elaborado em 2018 e apresentado no Doc. [189]. A Tabela 3.2 apresenta a estrutura organizacional da Barragem I.

7.1 MONITORAMENTO

De modo a garantir uma condição adequada de segurança e funcionamento das estruturas que compõem o sistema da Barragem I (acessos, aterro, taludes, ombreiras, estruturas de concreto, instrumentação, sistemas extravasor, superficial e interno), são executados o monitoramento da instrumentação, as inspeções periódicas e serviços de manutenção dos seus componentes.

O monitoramento consiste na coleta de dados e informações técnicas para o diagnóstico do comportamento das estruturas, e é realizado através de inspeções visuais, leituras, análises de instrumentos e ensaios geotécnicos de campo.

7.1.1 Inspeções

As inspeções periódicas são atividades essenciais para avaliação do estado de segurança da estrutura, uma vez que podem ser detectados visualmente sinais prévios de processos de instabilização. Desta forma, são realizadas continuamente para avaliação do histórico do comportamento do aterro, fundação e ombreiras. Periodicamente a VALE revisa os referidos procedimentos, a fim de aplicar o processo de melhoria contínua, em função das observações de operação.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 62/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

As inspeções devem contemplar as condições dos acessos à barragem, do reservatório, maciço, surgência de água, drenagem interna, pé do talude de jusante, ombreiras direita e esquerda, sistema extravasor, tubulações de água e rejeito, instrumentação e estruturas de concreto.

Ao fim de cada inspeção, a VALE realiza uma análise crítica da estrutura, comparando-a com os cenários identificados anteriormente e com os níveis de referência (normal, alerta e emergencial), definidos na Níveis de Segurança da Instrumentação, Doc. [173].

Após as inspeções especiais será emitido documento com caracterização da anomalia verificada, diagnóstico do problema e propostas das ações a serem realizadas, conforme premissas da Portaria nº 70.389/2017 do DNPM.

A partir da divulgação da Portaria nº 70.389/2017 do DNPM, anualmente devem ser elaborados dois Relatórios de Inspeção Regular de Barragem, sendo uma em março e outra em setembro. A primeira pode ser realizada pela própria equipe técnica da VALE, enquanto a segunda deve ser realizada por uma empresa contratada.

7.1.2 Instrumentação

As frequências de leituras dos instrumentos da Barragem I são estabelecidas no documento de Níveis de Segurança da Instrumentação.

O Doc. [171] reporta que as leituras são armazenadas em arquivos eletrônicos e oportunamente inseridas no programa GEOTEC, para posterior elaboração de gráficos de acompanhamento.

Após análise dos dados de monitoramento e armazenamento das informações, recomenda-se a montagem de um relatório de consolidação com apresentação gráfica de vários meses de dados de leitura dos instrumentos. É útil correlacionar dados de diferentes instrumentos para se ter uma visão integrada da barragem.

O Doc. [171] também define os procedimentos de gestão a serem implementados de forma planejada e criteriosa e contém informações suficientes e adequadas para permitir que a barragem seja operada segundo critérios de projeto e monitorada quanto ao seu desempenho, fornecendo sinais antecipados frente à ocorrência de eventos anômalos à rotina da estrutura, conforme Plano de Ação de Emergência, Doc. [144]. Para cada situação identificada, correspondem as ações de resposta tanto com relação às medições quanto com relação às notificações e medidas emergenciais.

7.2 OPERAÇÃO

Atualmente o reservatório da Barragem I não recebe mais rejeito de minério de ferro proveniente do sistema de beneficiamento, em função da mina ter passado a operar a seco desde julho de 2016. Seu reservatório serve para clarificação da água a ser extravasada para a Barragem VI.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 63/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Periodicamente são elaborados os seguintes registros para documentação da operação:

- Relatório de operação mensal, contendo registros da posição do nível d'água do reservatório, da borda livre e das inspeções de segurança realizadas;
- Registro mensal dos resultados da instrumentação;
- Registro anual com informações referente à batimetria realizada; e
- Registro anual com a síntese dos relatórios mensais e avaliação da segurança.

7.3 MANUTENÇÃO

A manutenção é realizada a partir da constatação de algum problema na barragem, observado nas inspeções realizadas pela VALE. Dependendo da gravidade do problema, alguns serviços devem ser executados logo após a sua identificação, evitando a potencialização de ameaças à segurança e operação da barragem.

O Manual de Operação estabelece que os serviços de manutenção deverão ser definidos pelo geotécnico a partir de observações constatadas nas inspeções de rotina. Dentre os serviços, se destacam:

- Limpeza de canaletas e caixas de drenagem superficial;
- Reparo de sulcos de erosão nos taludes e bermas e no terreno das ombreiras;
- Reparo da sinalização de identificação de instrumentos;
- Reparo ou substituição de instrumentos;
- Limpeza da área de saída do dreno de fundo;
- Poda da cobertura vegetal (grama) e replantio nas áreas de falha;
- Reaterro da crista, para correção de eventuais recalques e correção da drenagem;
- Reparo de tubulações de água;
- Remoção de cupinzeiros e formigueiros do talude de jusante da barragem;
- Reparo das estradas de acesso às barragens;
- Remoção de materiais flutuantes no emboque da estrutura extravasora.

8 ANÁLISE DE DESEMPENHO DA BARRAGEM

8.1 ADERÊNCIA ENTRE PROJETO E CONSTRUÇÃO

A Barragem I começou a ser implantada em 1976, a partir de dique inicial, tendo sido realizado dez alteamentos sucessivos, entre os anos de 1982 e 2013, preponderantemente para montante, na medida que o rejeito foi sendo disposto no reservatório da estrutura.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 64/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Para a barragem inicial e do 1º ao 6º alteamento da barragem não foram apresentados documentos “as built”. Foram disponibilizados desenhos “as built” da estrutura para: 7º alteamento, executado em 2003; 8º alteamento, executado em 2004; 9º alteamento, executado em 2008 e 10º alteamento, executado em 2013.

Os desenhos “as built” representam a situação final da estrutura como executada, não tendo sido apresentado registro detalhado dos serviços executados de modo diferente do inicialmente previsto em projeto.

8.2 INSPEÇÕES DE SEGURANÇA REGULARES

8.2.1 Fichas de Inspeção Regular

As inspeções de segurança são realizadas quinzenalmente e como resultado são geradas as fichas de inspeção. Nestas fichas são registradas as observações feitas na visita de campo e, eventualmente, a constatação de alguma anomalia.

A partir da avaliação das fichas de inspeção de segurança regular da Barragem I, referentes ao período de janeiro/2016 a setembro/2017 (Docs. [174] a [178]), foi constatado que ocorreram registros de anomalias na barragem e foram elaborados planos de ação visando seus tratamentos.

As anomalias identificadas no decorrer deste período foram diversas, referentes a: assoreamento de canaletas de drenagens superficiais; canaletas com concreto danificado e/ou com juntas sem tratamento, trinca na parede da descida d'água, mal direcionamento da drenagem superficial ocasionando erosão no acesso, existência de erosões superficiais no talude da barragem e no talude natural de acesso às tulipas; falha na proteção superficial do talude de jusante, formação de cupinzeiros/formigueiros; presença de vegetação alta no talude de jusante, presença de vegetação arbustiva no talude de montante do 10º alteamento, presença de vegetação no canal do sistema extravasor, vazamento na tubulação de água para a comunidade, instrumentos obstruídos (CFJB1PZ097 e CFJB1PZ085), canaletas abaixo da berma de equilíbrio onde estão as saídas dos DHPs assoreadas, presença de vegetação ao longo do dreno de fundo, presença de vegetação no canal de descida para a Barragem VI presença de vegetação nos marcos das ombreiras direita e esquerda.

Não foram verificadas anomalias com pontuação 6 ou 10 registradas pela VALE nas Fichas de Inspeção, tendo como base a tabela de Estado de Conservação da estrutura. De modo geral não foram identificadas anomalias relevantes durante o período analisado, conforme resumido na Tabela 8.1.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 65/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 8.1 – Consolidação - Inspeções regulares de rotina. Fonte: Docs. [174] a [178].

Inspeção	Confiabilidade das estruturas extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos taludes / Paramentos	EC (máximo)
- jan/16	0	0	0	2	2
- fev/16	0	0	0	2	2
- mar/16	0	0	0	0	0
- abr/16	0	0	0	0	0
- mai/16	0	0	0	0	0
- jun/16	0	0	0	0	0
- jul/16	0	0	0	2	2
- ago/16	0	0	0	2	2
- set/16	0	0	0	0	0
- out/16	3	0	0	0	3
- nov/16	3	0	0	0	3
- dez/16	0	0	0	2	2
- jan/17	0	0	0	2	2
- fev/17	0	0	0	2	2
- mar/17	0	0	0	2	2
- abr/17	0	0	0	2	2
mai/17	0	0	0	2	2
jun/17	0	0	0	2	2
jul/17	0	0	0	2	2
ago/17	0	0	0	2	2
set/17	0	0	0	2	2

8.2.2 Relatório de Inspeção de Segurança Regular

Foram avaliados os laudos de segurança de barragem entre os anos de 2013 e 2018. No último relatório, a Tractebel (Doc. [189]) foi responsável por realizar o relatório de inspeção de segurança regular da barragem.

Principais Observações:

- A barragem não recebe mais lançamento de rejeitos no reservatório. A operação da planta de concentração ocorre em sistema seco;
- Na crista, talude de montante, talude de jusante e ombreiras não foram observados sinais de instabilização e/ou surgências;

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 66/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- Foram observados drenos sub-horizontais instalados nas bermas abaixo da berma de recuo que apresentavam vazão considerável;
- Alguns instrumentos acima da berma de recua se apresentavam sem proteção; e
- O sistema extravasor (tipo torre, seguido por galeria) não apresentava indícios de dano ou falha estrutural. O desemboque do primeiro trecho da galeria de fundo do sistema extravasor e canal a céu aberto se apresentava sem anomalias.

A partir do que foi verificado em campo, concluiu-se que a estrutura se encontrava em condições adequadas de segurança tanto do ponto de vista de dimensionamento das estruturas hidráulicas, quanto da estabilidade física do maciço.

Por fim, nesta auditoria foi recomendado:

- Dar continuidade ao programa de inspeção e monitoramento, bem como aos trabalhos de limpeza e manutenção das estruturas ao longo do tempo; e
- Realização do projeto “As Is” que contemple e consolide todas as informações dos alteamentos da estrutura.

A partir das inspeções realizadas, dados de monitoramento e análises de documentos de projeto disponibilizados, os Relatórios de Inspeção de Segurança de Barragem dos anos 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018 constataram que a estrutura se encontrava em condições adequadas de segurança tanto do ponto de vista de dimensionamento das estruturas hidráulicas, quanto da estabilidade física do maciço.

8.3 ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS DA INSTRUMENTAÇÃO

Para análise do monitoramento dos níveis piezométricos e freáticos da Barragem I foram disponibilizadas as leituras, com frequência mensal, de 93 piezômetros, 37 indicadores de nível d'água, 53 medidores de vazão de drenos, 1 medidor de vazão residual e 1 régua de reservatório. Os dados da régua de reservatório foram disponibilizados até maio de 2016. Atualmente a régua de reservatório encontra-se inativa.

A Figura 8.1 apresenta o histórico do monitoramento do nível do reservatório e os dados de pluviometria local. Observa-se que até o ano 2013, quando foi executado o último alteamento da barragem, o nível d'água no reservatório estava condicionado preponderantemente pela cota de coroamento da barragem e do sistema extravasor em operação. Depois da conclusão dos alteamentos da barragem, pode se perceber certa correlação entre a pluviometria e o nível do reservatório. Atualmente o nível d'água do reservatório tem sido mantido em torno da El. 936 m, abaixo da soleira do vertedouro, através de um sistema de bombeamento que conduz a água captada para a torre 3 da tomada d'água do sistema extravasor.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 67/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

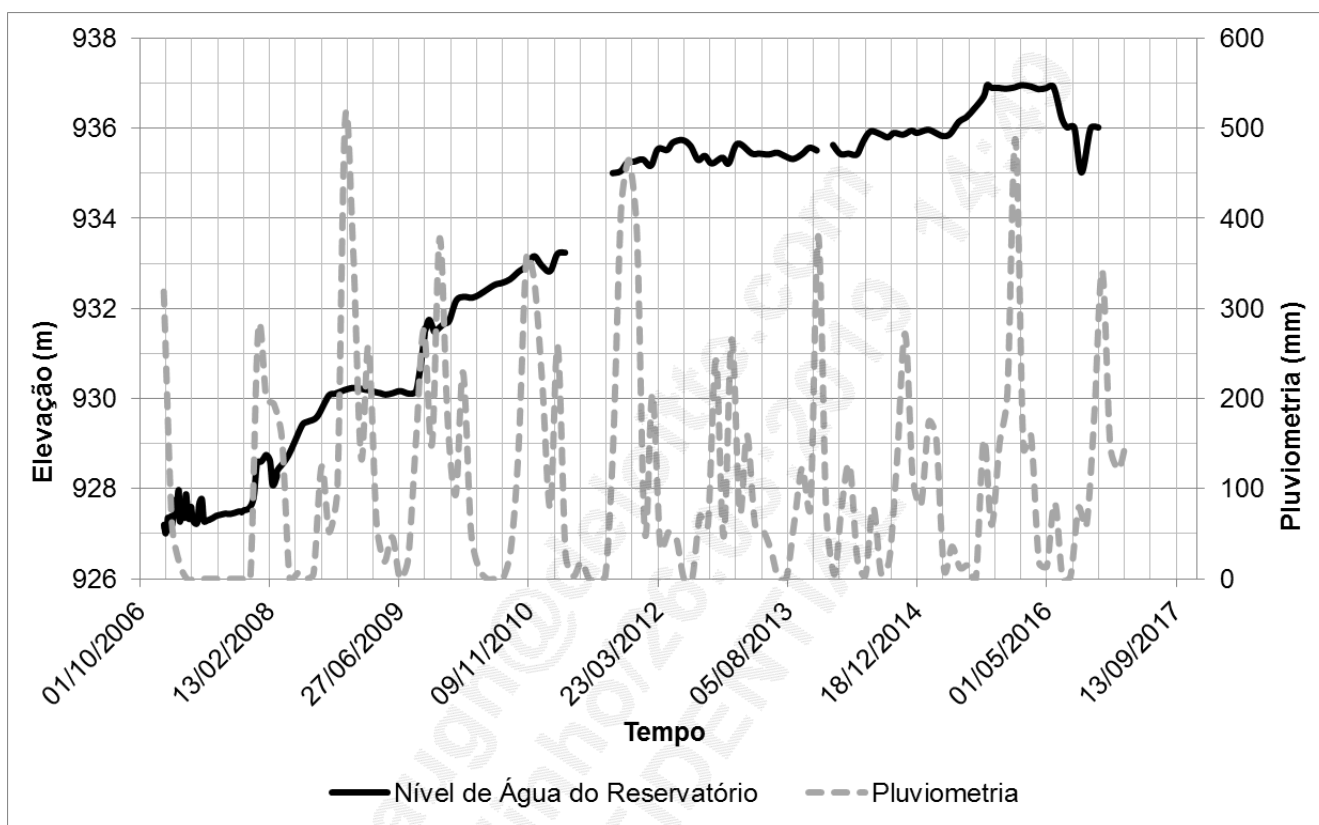


Figura 8.1 – Histórico do monitoramento do nível d’água do reservatório e da pluviometria local. Fonte: Doc. [128].

A Figura 8.2 apresenta o histórico das leituras dos medidores de vazão do tipo triangular, no período de 2005 a 2017. Observa-se um pico de vazão no segundo semestre de 2016.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 68/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

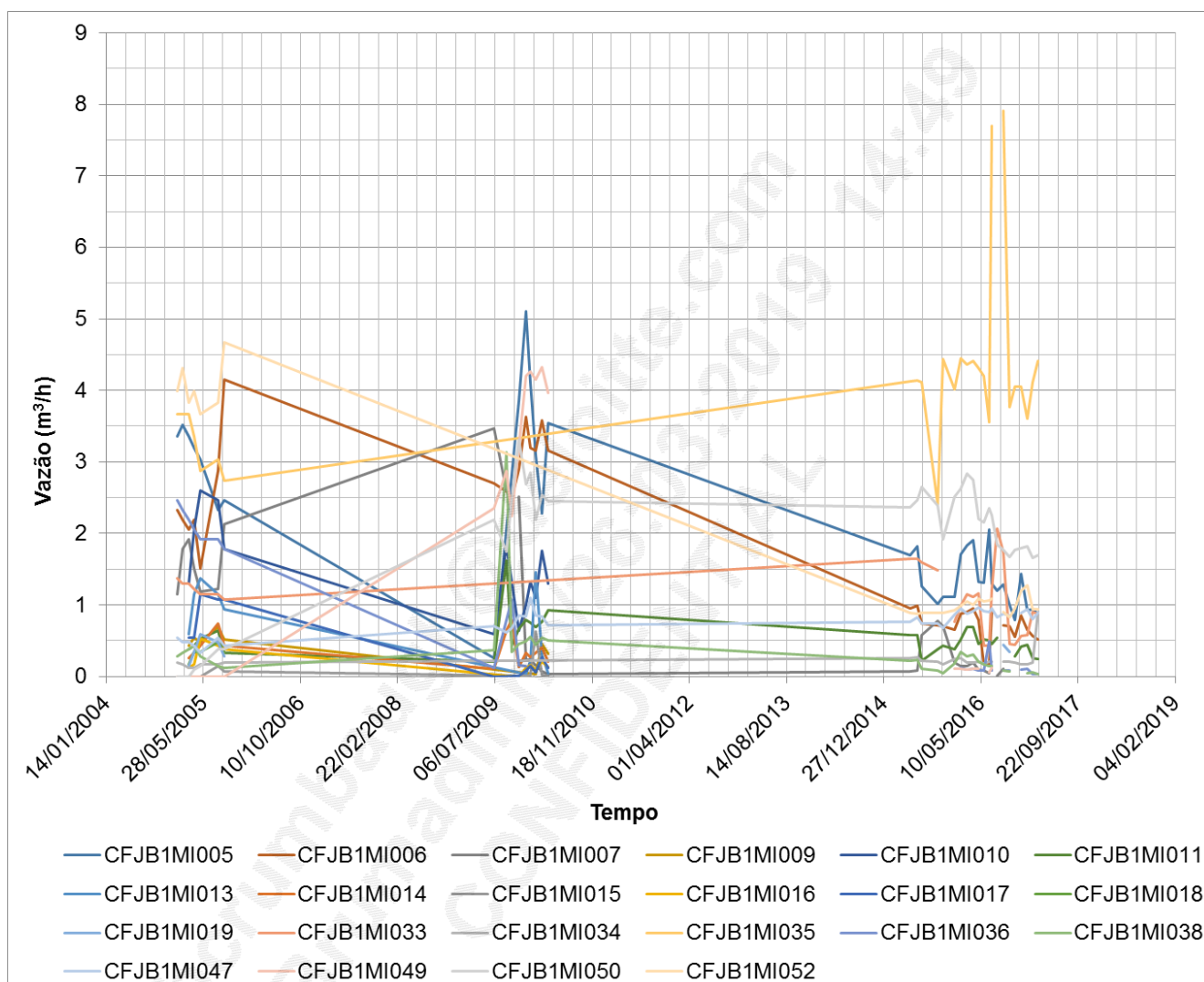


Figura 8.2 – Histórico do monitoramento das leituras no medidor de vazão (calha Parshall) e da pluviometria local. Fonte: Doc. [128].

A Figura 8.3 apresenta o histórico das leituras de vazão medidas com balde e dos dados de pluviometria local. De modo geral, se observa certa relação entre os picos de chuvas na região e a vazão medida nos instrumentos.

A Figura 8.4 apresenta o histórico das leituras de medida de vazão no aparelho “Flowtracker” e dos dados de pluviometria local. Como era de se esperar, existe forte correlação entre os picos de chuvas na região e a vazão medida neste instrumento.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 69/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

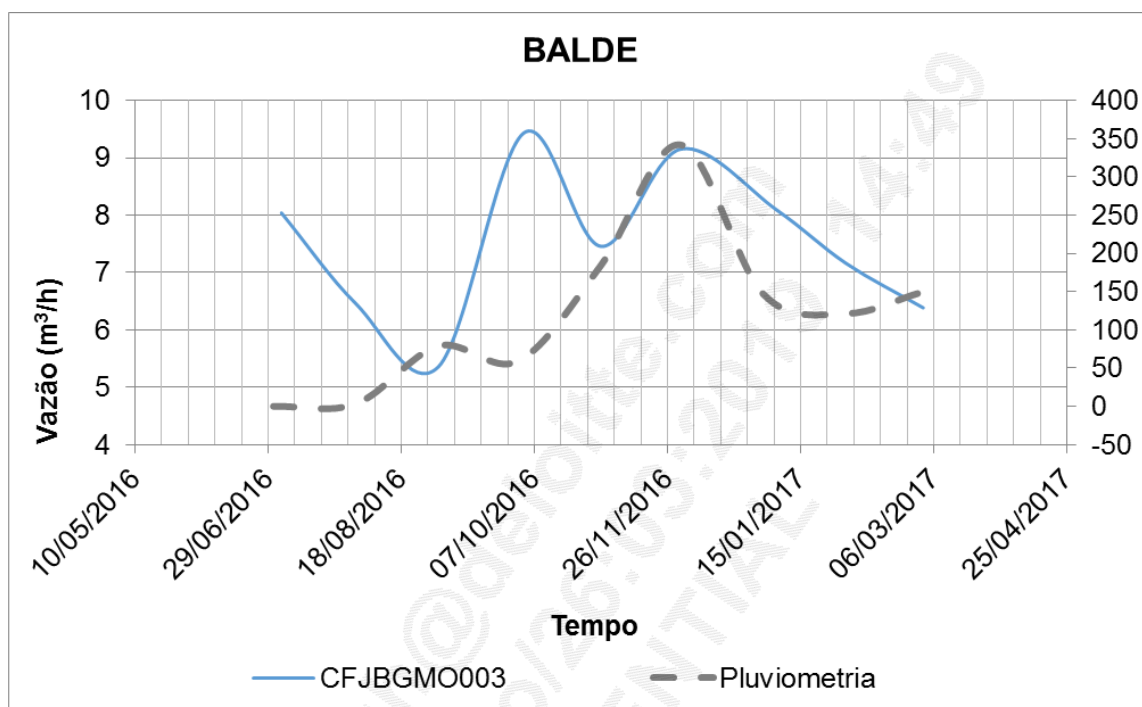


Figura 8.3 – Histórico do monitoramento das leituras no medidor de vazão triangular e da pluviometria local. Fonte: Doc. [128].

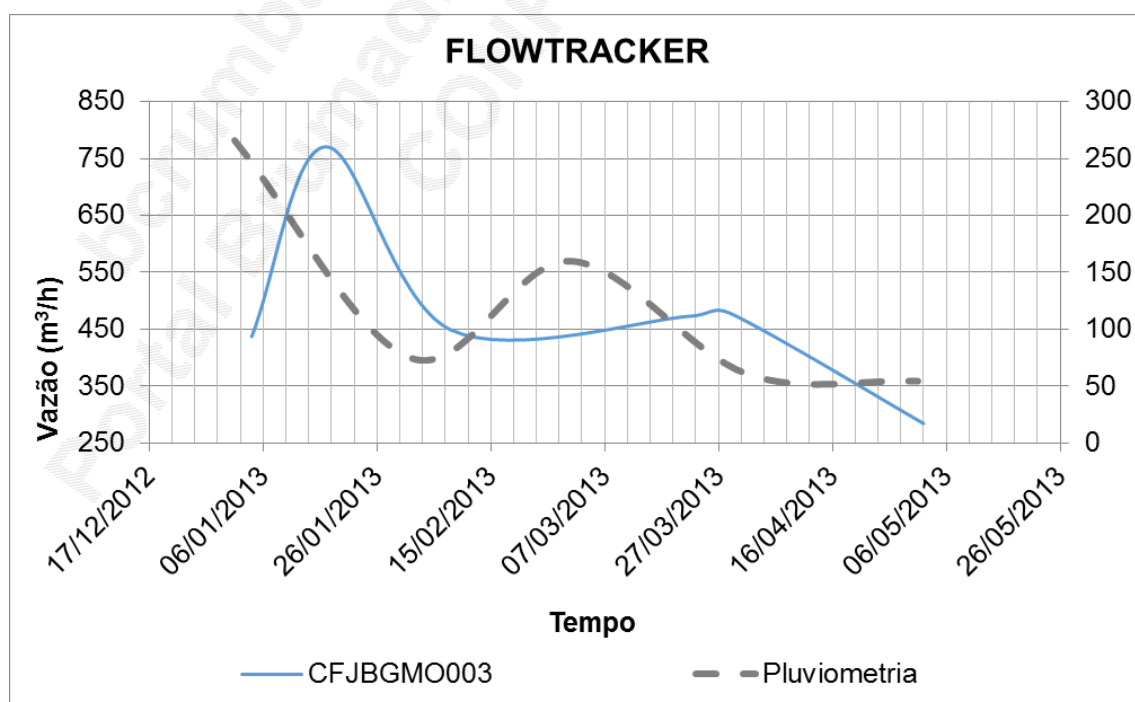


Figura 8.4 – Histórico do monitoramento das leituras no medidor de vazão “Flowtracker” e da pluviometria local. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 70/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Foi disponibilizado o histórico de monitoramento dos marcos topográficos MP001a MP007, com leituras de 2011 a 2016, Doc. [128]. Na Figura 8.5 se apresenta o histórico de deslocamentos na direção vertical, onde se observa que foram lidos recalques de até 0,30 m.

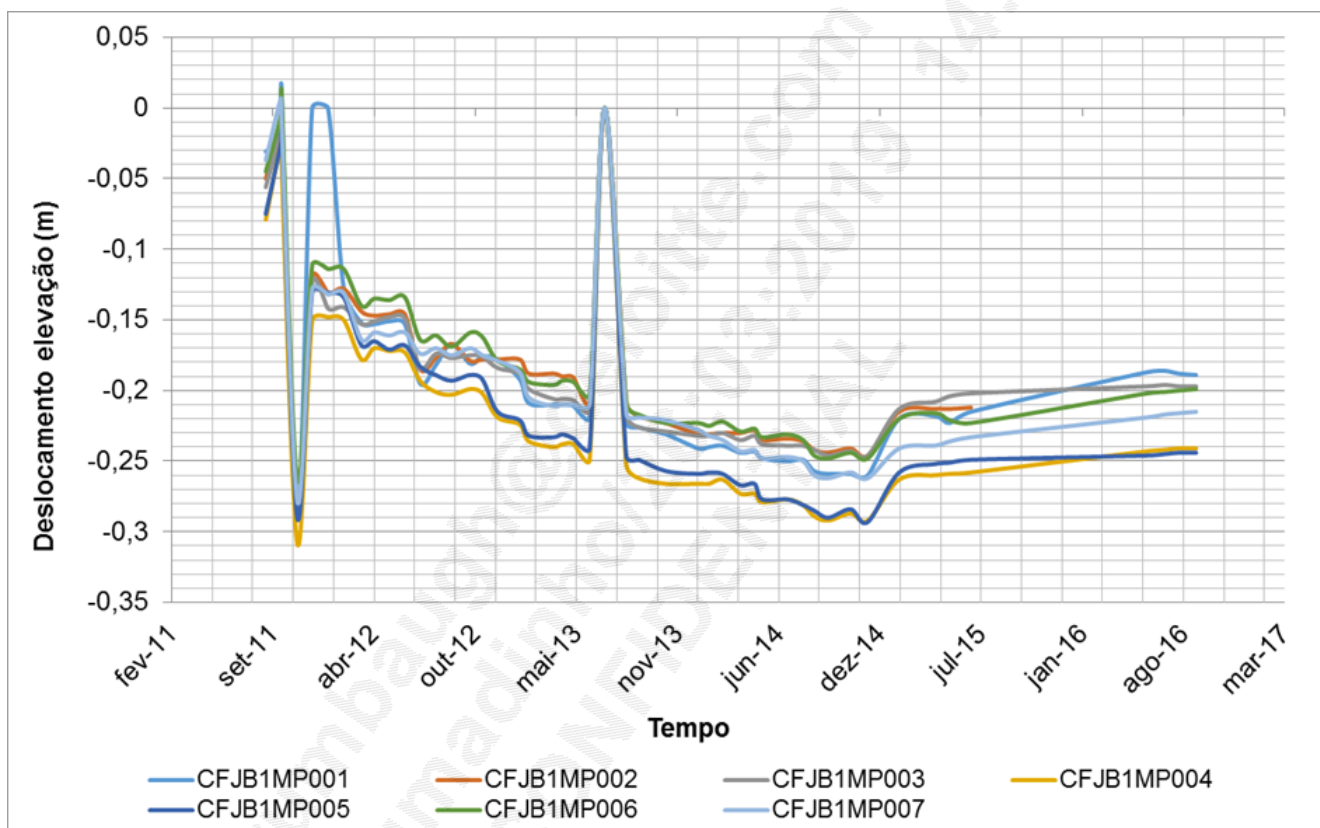


Figura 8.5 – Deslocamentos na elevação dos marcos topográficos MP001 a MP007, leituras de 2011 a 2016. Fonte: Doc. [128].

Os marcos topográficos MP001 a MP007 continuaram a ser monitorados até setembro/2016, quando foram desativados. Em fevereiro de 2017 foram instalados novos marcos topográficos, MT-1 a MT-07, tendo seu monitoramento começado em março/2017 e realizados 7 leituras mensais até setembro/2017. Os deslocamentos destes marcos topográficos nas direções Vertical, Leste e Norte estão apresentados nas Figura 8.6, Figura 8.7 e Figura 8.8, respectivamente.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 71/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

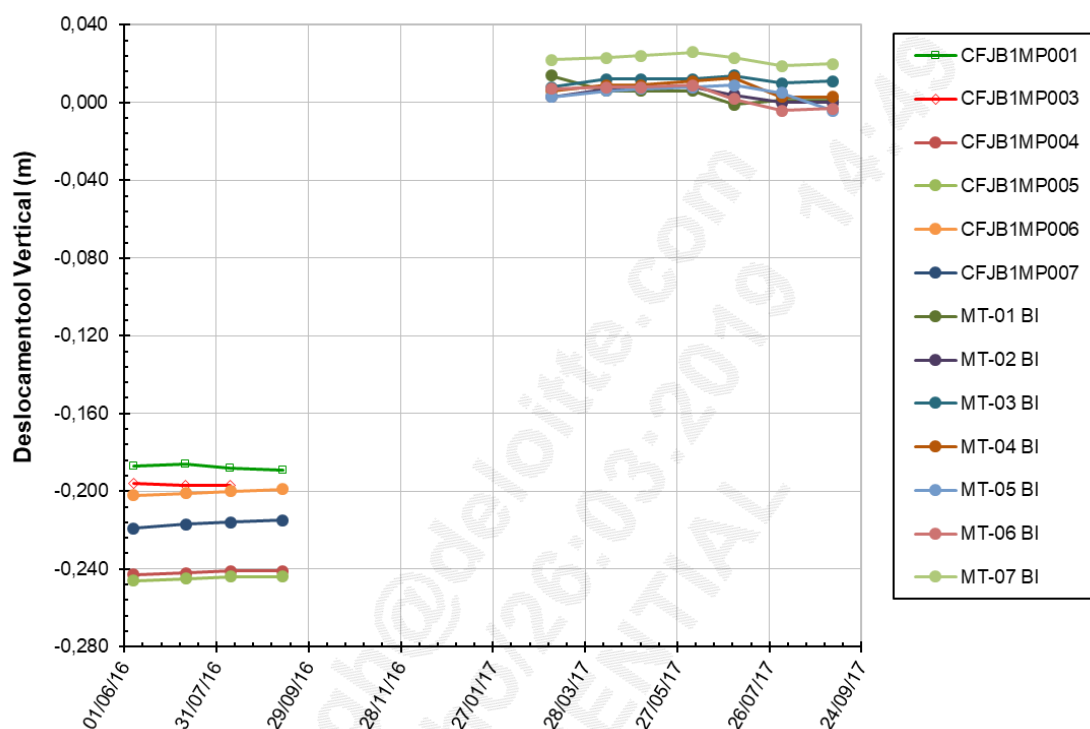


Figura 8.6 – Deslocamentos observados na direção vertical. Fonte: Doc. [128].

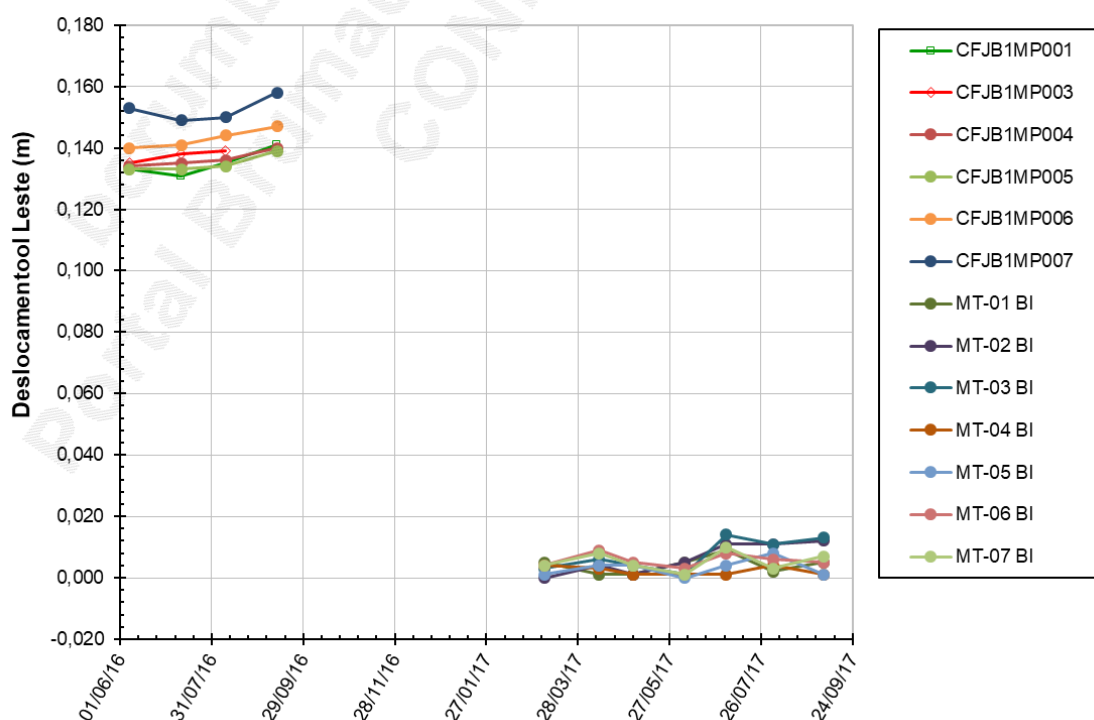


Figura 8.7 – Deslocamentos observados na direção Leste. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 72/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

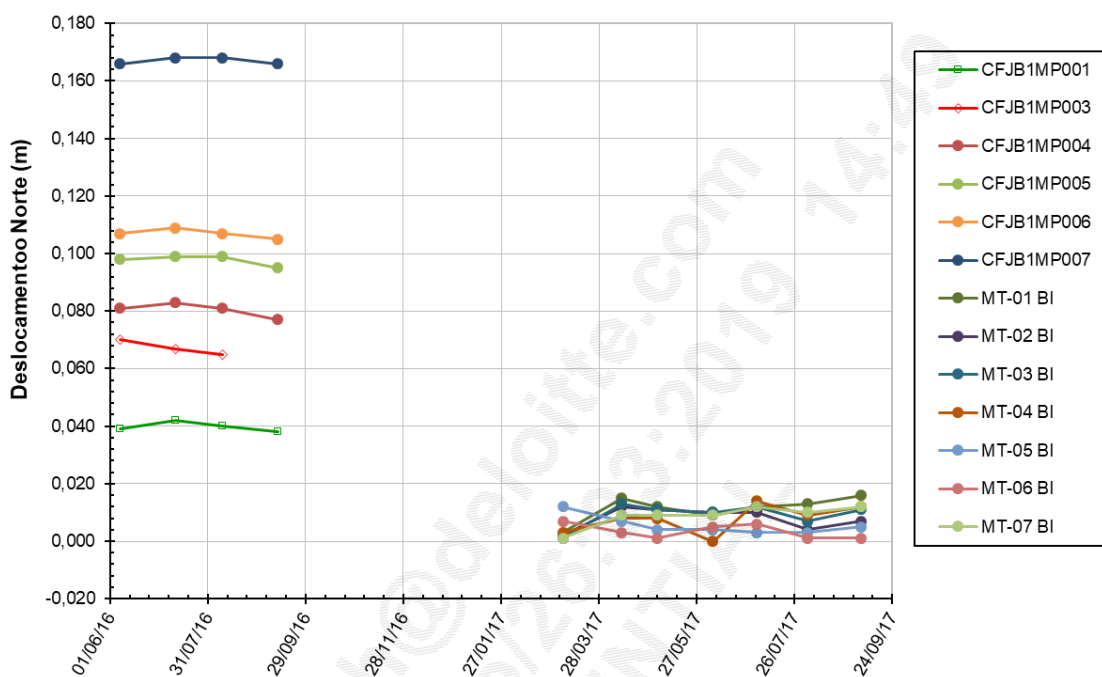


Figura 8.8 – Deslocamentos observados na direção Norte. Fonte: Doc. [128].

O Apêndice D apresenta os gráficos com leituras dos indicadores de nível d'água e dos piezômetros instalados na Barragem I. Os gráficos foram elaborados de forma comparativa, mostrando as leituras do instrumento em questão, os dados de pluviometria e os níveis estabelecidos como atenção, alerta e emergência (obtidos a partir da Carta de Risco) cadastrados no GEOTEC III (quando existentes).

A partir da análise do histórico de leituras dos piezômetros instalados no maciço observa-se queda nos níveis piezométricos associada ao final de operação da barragem, datado de julho de 2016. Outro evento significativo que afetou os dados, ocorrido em 2005, foi a implantação de praia com distância mínima de 150 m em relação à face de montante da barragem.

A Barragem I é monitorada através de 7 seções instrumentadas, nomeadas de 0-0 a 6-6, conforme ilustrado na Figura 8.9. Após a verificação das seções e seus níveis piezométricos atualizados medidos nos instrumentos, as Seções 2-2, 3-3 e 4-4 (máxima altura) foram selecionadas para realização das análises de estabilidade.

A interpretação do nível freático atuante na barragem é apresentada na Figura 8.10 (Seção 2-2), na Figura 8.11 (Seção 3-3) e na Figura 8.12 (Seção 4-4). Para definição da freática a montante da barragem, onde não existem instrumentos instalados, considerou-se um nível d'água livre a uma distância de aproximadamente 330 m do talude de montante, conforme observa-se na **Figura 6.2** (lago restrito ao fundo do reservatório).

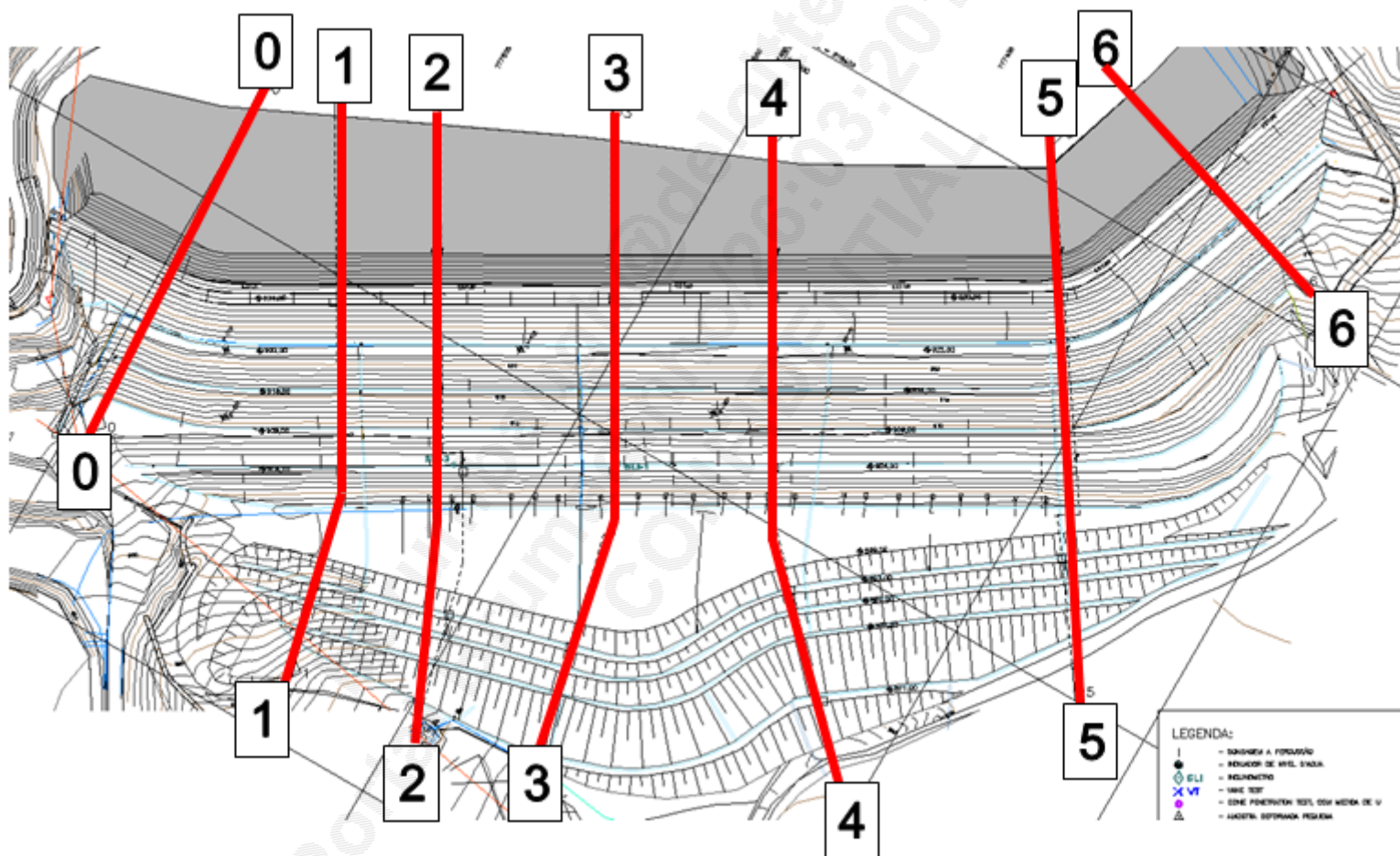


Figura 8.9 – Localização das seções instrumentadas da Barragem I.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

74/265

REV.

4

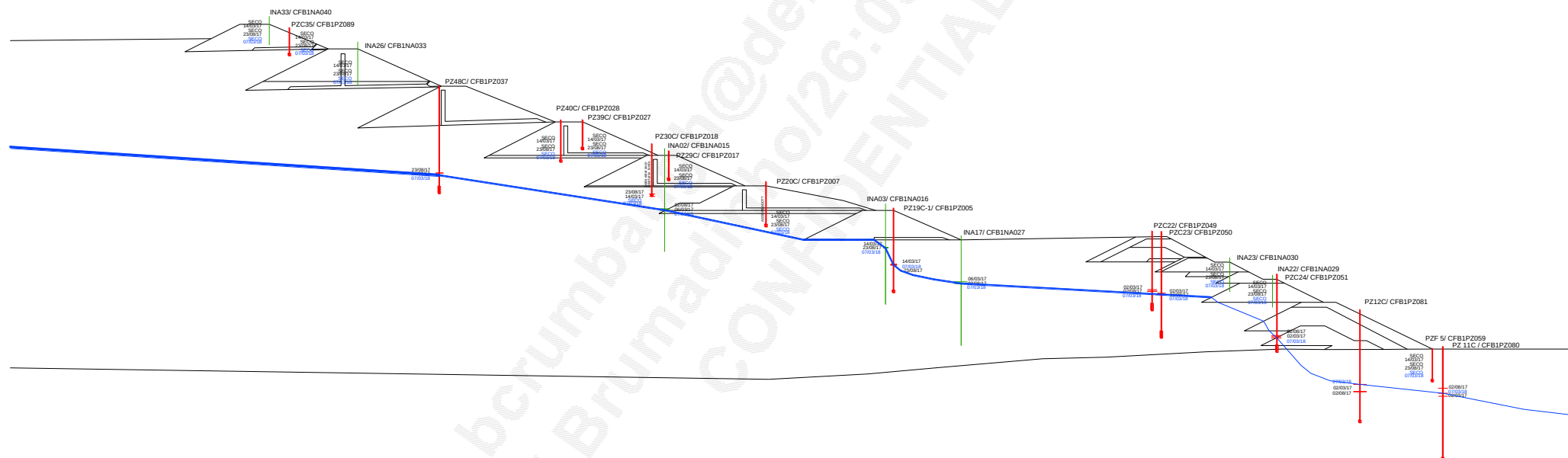


Figura 8.10 – Nível freático interpretado na Seção 2-2.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

75/265

REV.

4

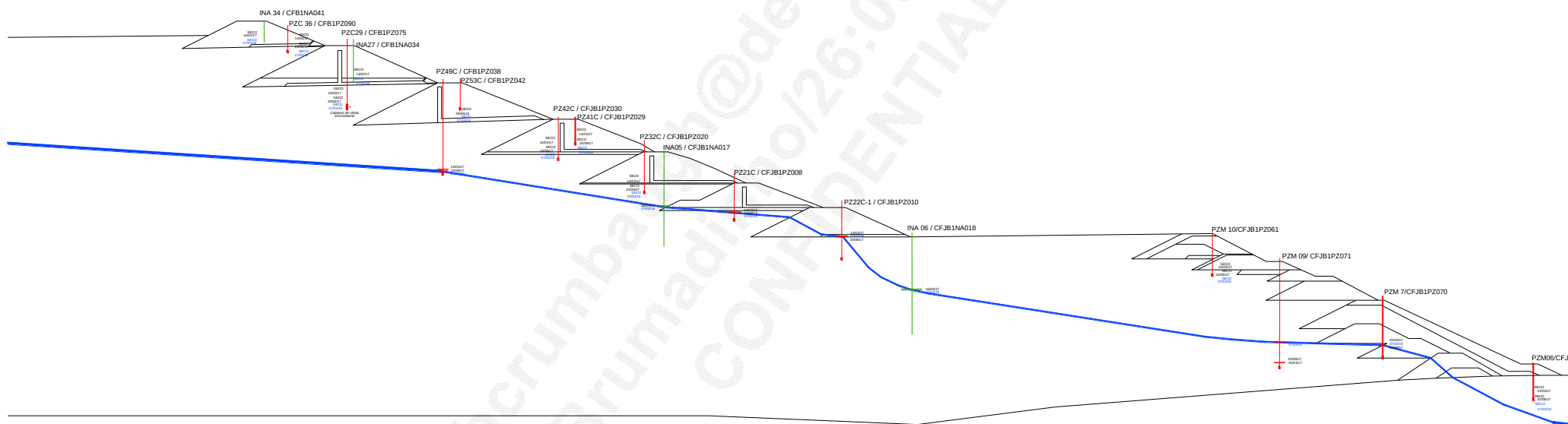


Figura 8.11 – Nível freático interpretado na Seção 3-3.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

76/265

REV.

4

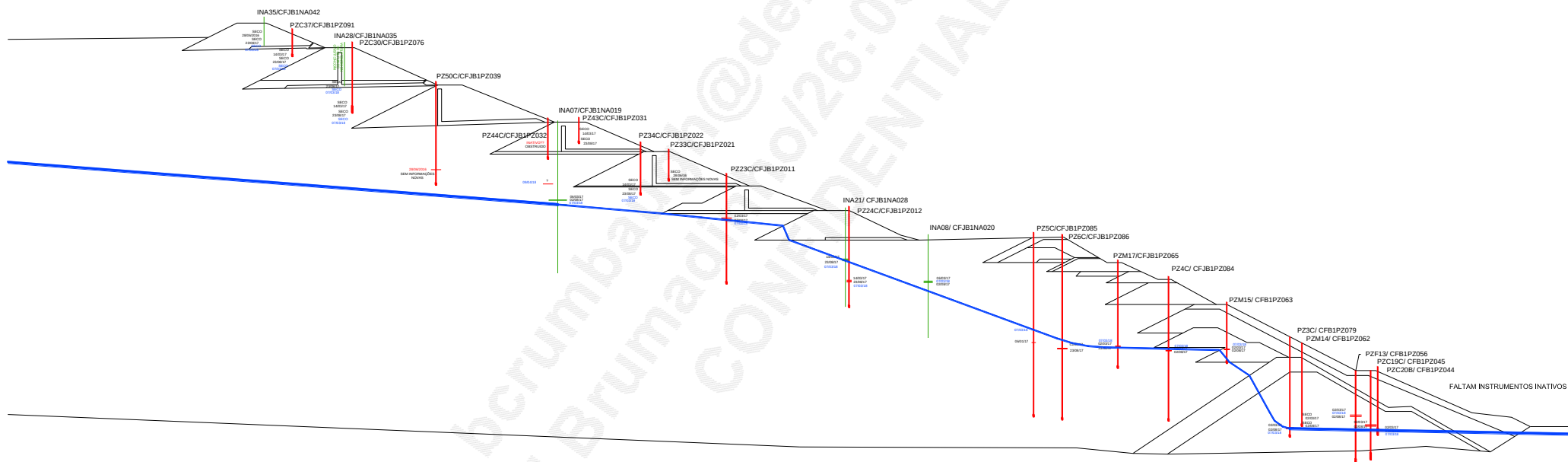


Figura 8.12 – Nível freático interpretado na Seção 4-4.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO - BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 77/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

9 OBSERVAÇÕES DA VISITA EM CAMPO

A inspeção de campo da Barragem I, pertencente a Mina do Feijão, no Complexo Paraopeba, localizada no município de Brumadinho/MG, ocorreu no dia 3 de agosto de 2017.

Está apresentado no Apêndice B *checklist* preenchido a partir das informações e cenários vistos. O Apêndice C apresenta o relatório fotográfico da visita técnica, ao qual se deve recorrer para serem encontradas as fotos aqui referenciadas.

A visita foi realizada com acompanhamento dos engenheiros da Vale S.A., Cristina Malheiros, Artur Ribeiro, Daniel Ramos e Wagner Castro, juntamente com o engenheiro Marlisio O. Cecílio Jr, representando a Tüv-Süd Bureau de Projetos e Consultoria.

A visita ocorreu durante o período da manhã e da tarde de um dia ensolarado, sem notificação recente de chuva no local. As vistorias tiveram início na crista da barragem, percorrendo-se as bermas de jusante pelas ombreiras esquerda e direita em direção ao pé da barragem.

A grama se encontrava aparada, os dispositivos de drenagem limpos e os serviços de dedetização de cupins e formigas sendo finalizados. Observou-se a presença de animais na área da barragem.

A Figura 9.1 apresenta locais de anomalias encontrados ao longo da inspeção, chamados de pontos de atenção (PT's), os quais serão tratados separadamente na descrição de cada componente da barragem.

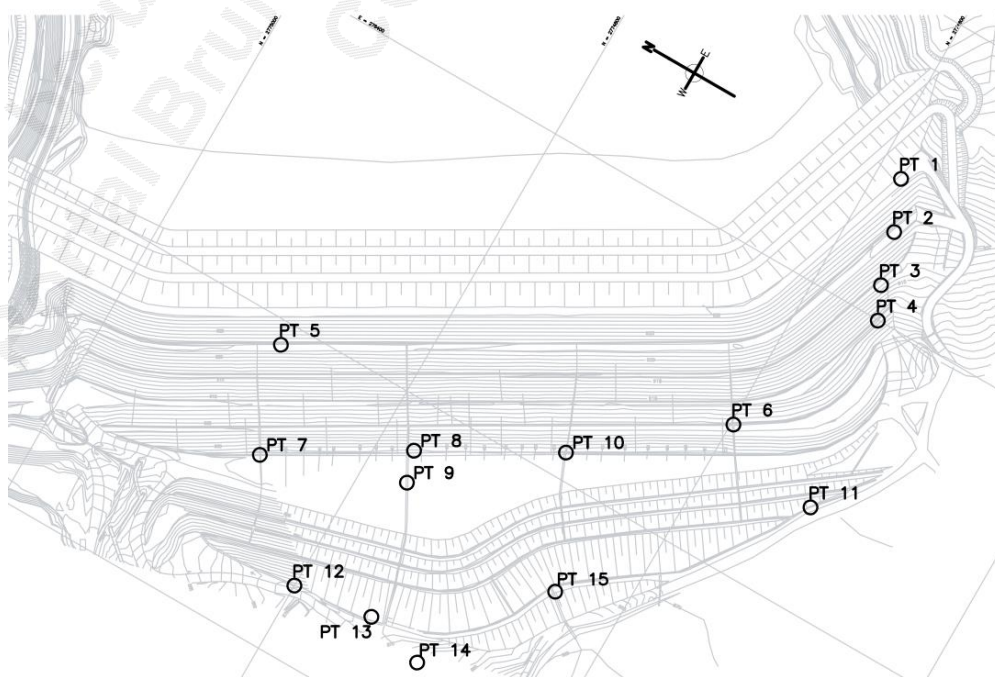


Figura 9.1 – Pontos de atenção identificados ao longo da vistoria.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão - Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 78/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

A seguir são descritos os componentes da barragem e seus respectivos estados de conservação ou existência de anomalias encontradas durante a visita técnica.

9.1 ACESSOS

Encontrava-se em boas condições, sem revestimento e sem dispositivos de drenagem superficial, porém sem sinais de erosões (ver Foto 1).

9.2 CRISTA

Encontra-se em boas condições, sem depressões, abaulamentos ou trincas (ver Foto 2). O revestimento da crista é em solo laterítico. Não foram encontrados focos erosivos.

São observadas tubulações que eram utilizadas para disposição de rejeito, as quais não operam mais atualmente.

9.3 TALUDE DE MONTANTE

O talude de montante encontra-se em boas condições, sem focos erosivos, áreas úmidas, deformações ou trincas (ver Foto 3 e Foto 4).

9.4 TALUDE DE JUSANTE

O talude de jusante pode ser dividido em três regiões: entre a crista e a berma na El. 899 m; a berma da El. 899m; e entre o pé da barragem e a berma na El. 899 m.

Na área do talude de jusante delimitada entre a crista e a berma na El. 899 m, 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 910 m (ver Foto 5, Foto 6 e Foto 7);
- PT 5: pequeno foco erosivo na EL. 922,5 m, conforme Foto 8;
- PT 6: canal trincado na EL. 905 m, conforme Foto 9.

Na área da berma na EL. 899 m começa a ser nítida 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. Os pontos de atenção foram:

- PT 7 e PT 10: das 4 trincheiras existentes na berma, duas delas (PT 7 e PT 10) encontram-se solapadas (contato entre a descida e o canal) em sua base e repletas de água (ver Foto 10). Além disso, no PT 10 também foi observada inclinação da parede da descida d'água, conforme Foto 11;

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO - BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 79/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- PT 8: neste ponto foi encontrada surgência de água na canaleta existente, próxima a segunda trincheira (da ombreira direita para esquerda), conforme Foto 12. O talude entre a EL. 899 e 905 m encontra-se parcialmente saturado (região do pé) na região de surgência d'água. Importante observar que o dreno interno existente próximo à região da surgência encontrava-se seco (ver na Foto 12).
- PT 9: neste ponto é possível observar a ocorrência de colóide, conforme Foto 13.

Na área do talude de jusante delimitada entre a berma na EL. 899 m e o pé da barragem foram encontrados vários drenos internos operando. Como pontos de atenção destacam-se surgências d'água encontradas nas trincas dos dispositivos de drenagem. Os pontos de atenção encontrados são:

- PT 11 e PT 12: nestes pontos foram identificadas surgências sobre o dispositivo de drenagem (ver Foto 14 e Foto 15);
- PT 13: neste ponto é possível observar a ocorrência de colóide (ver Foto 16). Na face do talude, no entorno do dreno, observa-se área de saturação localizada;
- PT 15: solapamento no início da descida d'água em escada, na berma na EL. 872 m, (ver Foto 17 e Foto 18).
- Escoramento realizado no talude de jusante da barragem, EL. 895m, em local aonde havia ocorrido ruptura local (ver Foto 19);

9.5 OMBREIRAS

As ombreiras apresentaram-se em boas condições, exceto pelo PT 14, onde foi constatado processo erosivo (ver Foto 20).

9.6 INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação da estrutura encontrava-se em bom estado de conservação (ver Foto 21 e Foto 22). Não foi encontrado nenhum piezômetro com artesianismo.

9.7 RESERVATÓRIO

O reservatório pode ser observado a partir da crista da barragem, conforme vista parcial apresentada na Foto 23 e na Foto 24.

9.8 SISTEMA EXTRAVASOR

O sistema extravasor da Barragem I é composto por três torres dotadas de stop-logs, conectadas a galeria de encosta, seguida de galeria de fundo. Ao final da galeria de fundo há um canal que conduz as defluências da Barragem I até o reservatório da Barragem VI.

Durante a visita técnica, constatou-se que as torres 2 e 3 encontram-se acima da praia de rejeitos, em condições de operar (ver Foto 25 e Foto 26), enquanto a torre 1 já se encontra

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO - BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 80/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

obturada. Destaca-se que o emboque da torre 2 encontra-se totalmente protegido por grades, o que evita a entrada de material grosseiro na galeria, contudo, isto introduz uma perda de carga adicional ao sistema extravasor.

Atualmente a Barragem I encontra-se fora de operação, sem lançamento de rejeitos em seu reservatório. Durante a inspeção de campo verificou-se a formação de um pequeno lago, ao fundo do reservatório, associado a um sistema de bombeamento que conduz a vazão para a torre 3 (ver Foto 27).

A galeria de fundo do sistema extravasor desemboca em um canal retangular em concreto (ver Foto 28 e Foto 29). Este trecho se encerra em uma deflexão de 90° (ver Foto 30), sendo conduzido a uma descida em rampa, com alta declividade (ver Foto 31). A estrutura, até este ponto, apresenta bom estado de conservação. Após este trecho até a entrada do reservatório da Barragem VI, o canal encontra-se assoreado e com presença de vegetação (ver Foto 32).

10 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

As análises de estabilidade da Barragem I têm o intuito de quantificar o Fator de Segurança (FS) do talude de jusante. Essas análises foram realizadas com o programa Slide 7.0[®], desenvolvido pela empresa Rocscience. O fator de segurança foi calculado utilizando-se o método do Equilíbrio Limite, por meio do método de cálculo de Spencer, consagrado e considerado rigoroso para superfícies de ruptura circulares. Foram realizadas análises drenadas considerando-se o critério de resistência de Mohr-Coulomb (c' e ϕ') e análises não-drenadas considerando-se para os rejeitos saturados sua resistência não-drenada (s_u).

Para a realização das análises de estabilidade, são três os aspectos essenciais: a **geometria** da barragem (seção transversal), os **níveis piezométricos** atuantes e os **parâmetros geotécnicos** considerados para os materiais. Estes três aspectos são apresentados na sequência.

10.1 GEOMETRIA

Foram consideradas três seções transversais para a realização das análises de estabilidade da Barragem I, conforme locação das seções instrumentadas apresentada na Figura 8.9. As geometrias das seções são apresentadas na Figura 10.1 (Seção 2-2), na Figura 10.2 (Seção 3-3) e na Figura 10.3 (Seção 4-4, de máxima altura).

As seções transversais foram obtidas a partir dos dados de projetos dos primeiros alteamentos (Docs. [28], [32], [36] e [43]) e do “As Built” dos maciços finais (Docs. [113] a [116]). A elevação e inclinação da praia de rejeitos foi interpretada a partir da topobatimetria atualizada fornecida pela Vale.

As seções da barragem são conformadas por cinco materiais: Rejeito, Aterro com minério ultrafino (dique de partida), Aterro em solo compactado, Aterro de rejeito compactado e Fundação em solo residual.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

81/265

REV.

4

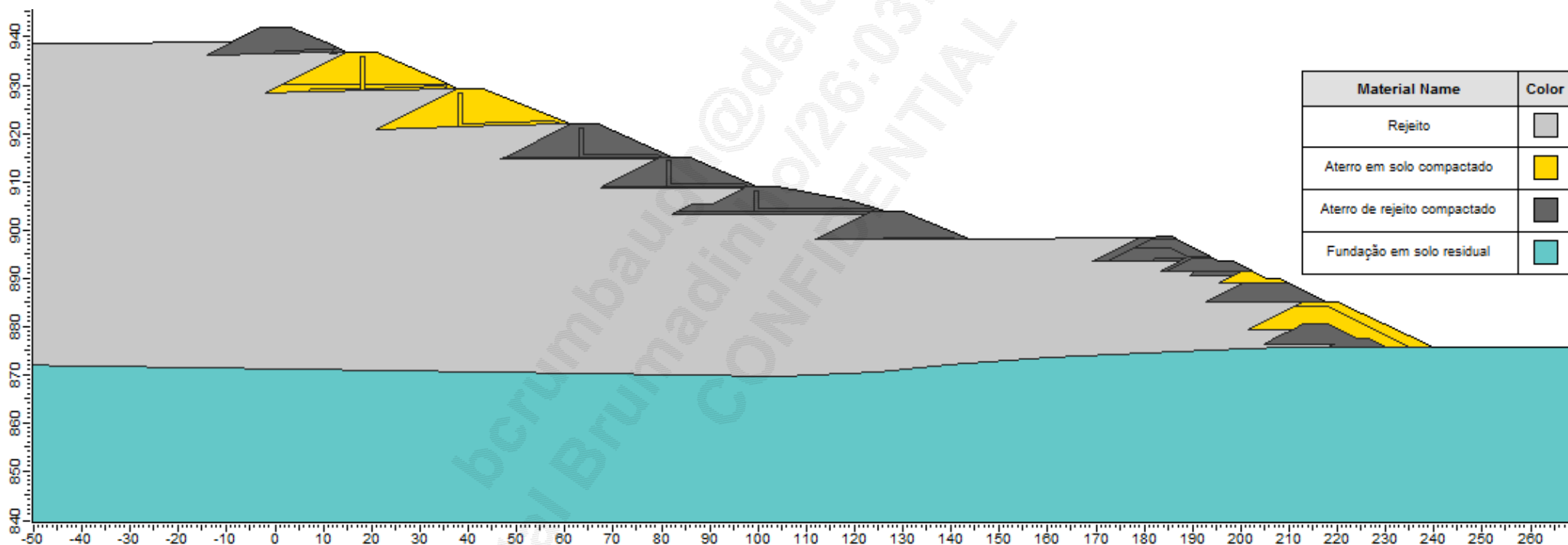


Figura 10.1 – Geometria da Barragem I, Seção 2-2.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

82/265

REV.

4

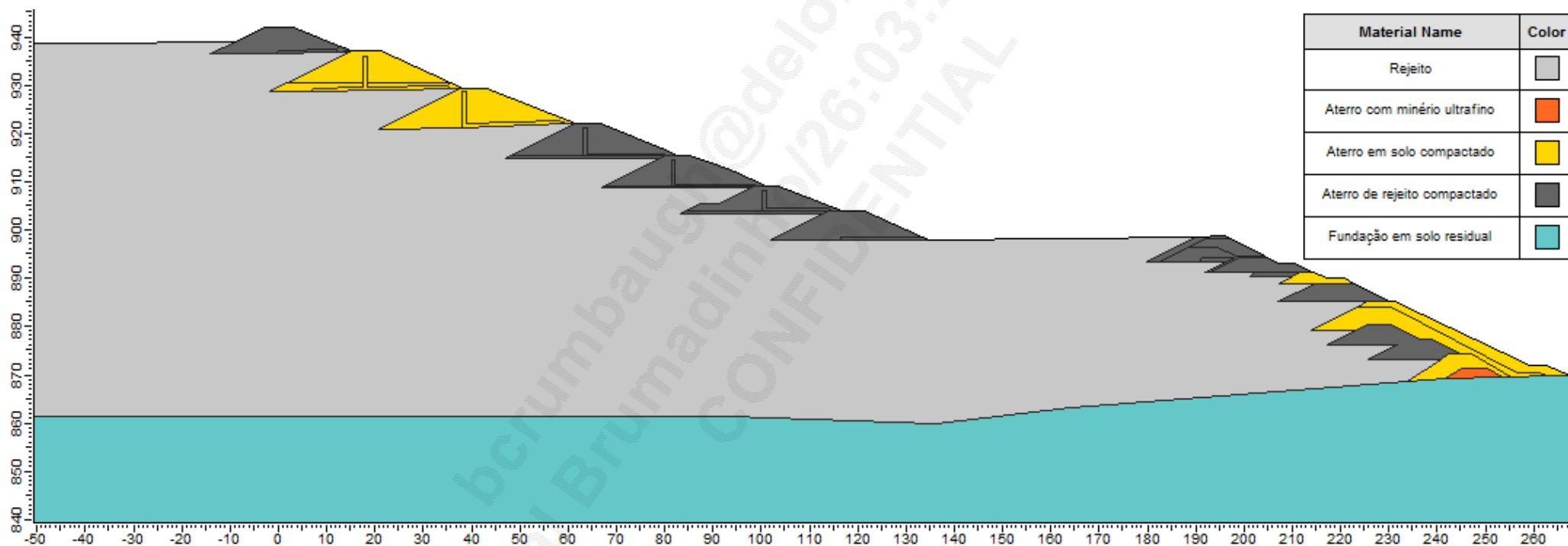


Figura 10.2 – Geometria da Barragem I, Seção 3-3.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

PÁGINA

83/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4

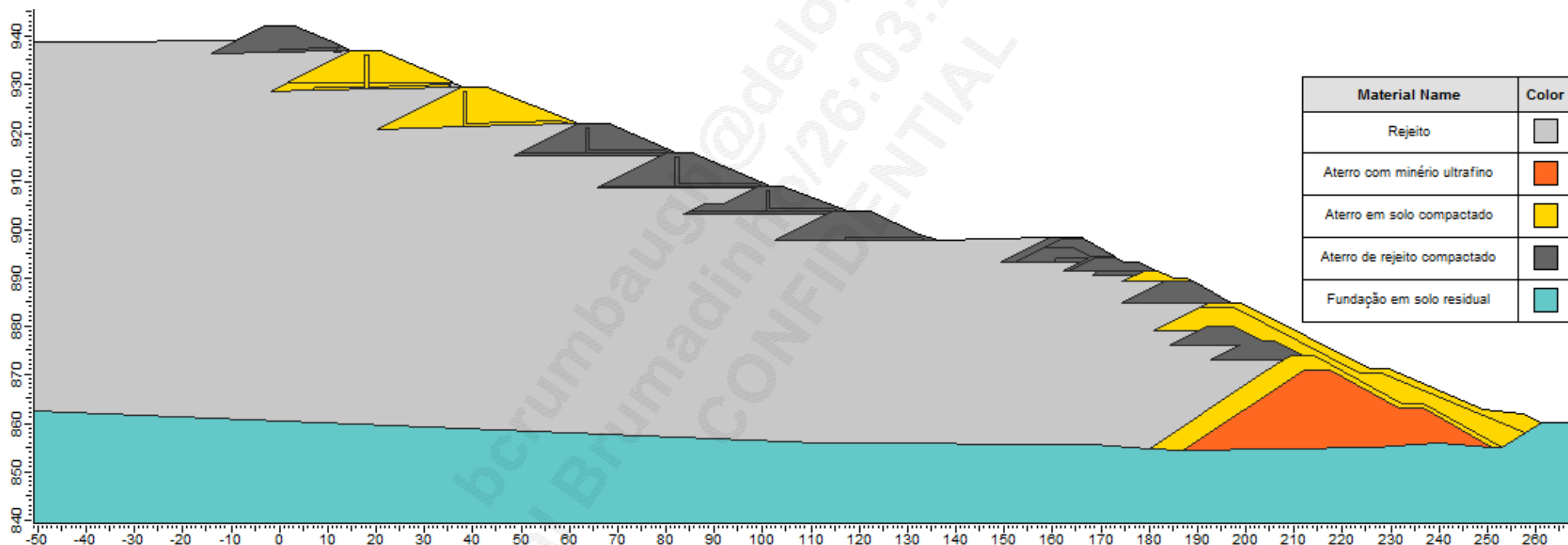


Figura 10.3 – Geometria da Barragem I, Seção 4-4 (máxima altura).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 84/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Os contatos geológicos-geotécnicos e a constituição dos materiais foram definidos a partir da documentação existente de projetos e estudos anteriores. Grande parte da informação disponibilizada se refere aos últimos alteamentos, sendo que para o dique de partida e os alteamentos iniciais, as informações disponíveis não são confiáveis ou inexistem, em especial no que diz respeito ao sistema de drenagem interna e caracterização física e mecânica dos materiais. Para simplificação do modelo, os materiais constituintes de camadas muito delgadas não foram modelados (drenagem interna), principalmente devido ao tamanho da barragem e à baixa influência que eles exerceriam nos resultados.

10.2 NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS

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).

Após definidas as camadas de rejeito, foram definidos os níveis piezométricos atuantes em cada camada, baseados na análise detalhada do monitoramento da barragem atualizada conforme dados GEOTEC III de março/2018.

Para a condição de contorno de montante, onde não existem instrumentos instalados, considerou-se um nível d'água livre a uma distância de aproximadamente 330 m do talude de montante, conforme observa-se na **Figura 6.2** (lago restrito ao fundo do reservatório).

Os níveis piezométricos atuantes em cada camada de rejeito são apresentados na Figura 10.6 (Seção 2-2), na Figura 10.7 (Seção 3-3) e na Figura 10.8 (Seção 4-4).

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).



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

85/265

REV.

4

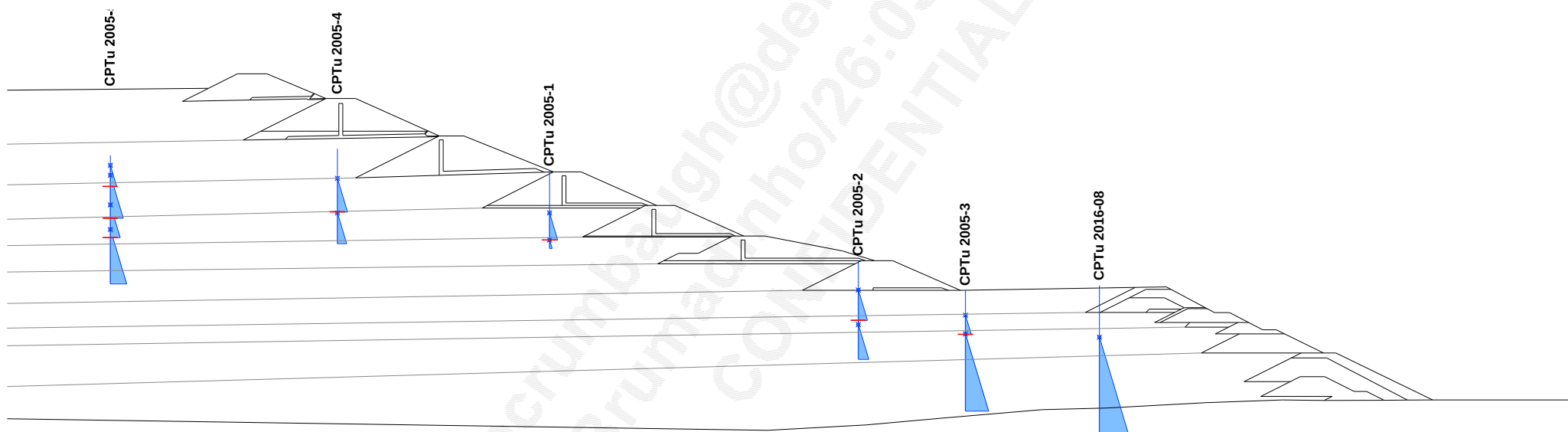


Figura 10.4 – Definição de camadas de rejeitos para empoleiramento dos lençóis freáticos, a partir da análise dos ensaios CPTu (Seção 2-2).



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

PÁGINA

86/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4

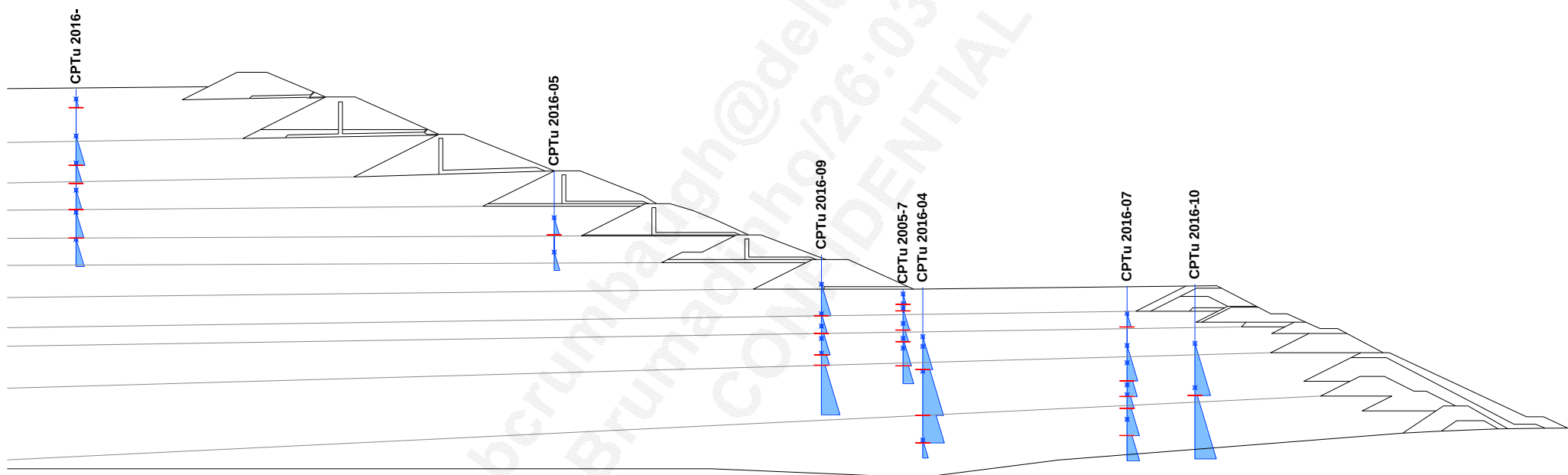


Figura 10.5 – Definição de camadas de rejeitos para empoleiramento dos lençóis freáticos, a partir da análise dos ensaios CPTu (Seção 3-3).



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

87/265

REV.

4

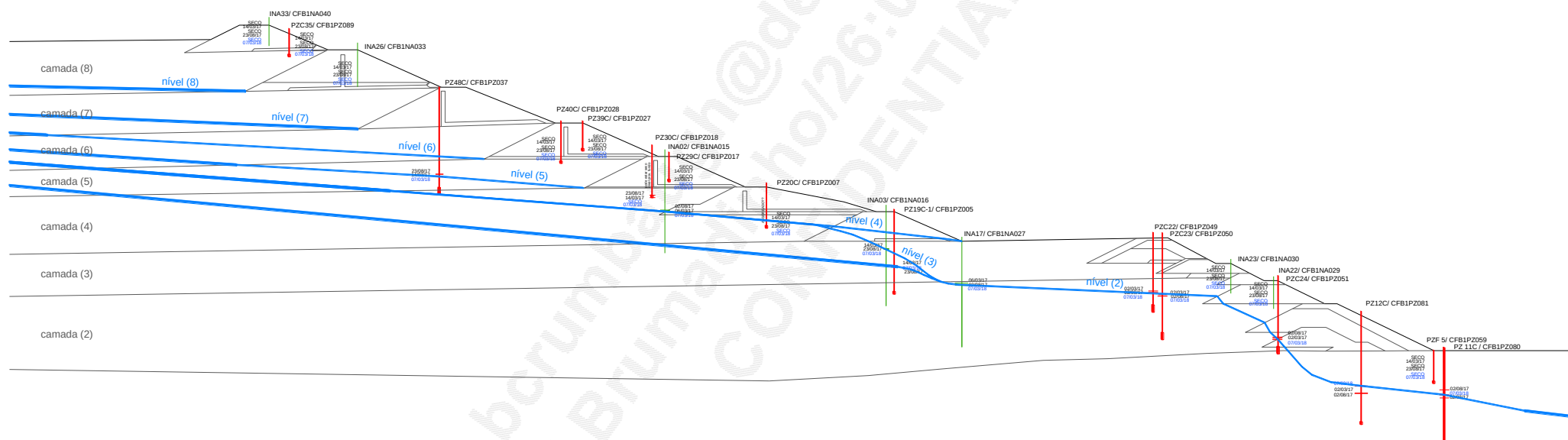


Figura 10.6 – Níveis piezométricos atuantes em cada camada de rejeito, interpretados a partir da análise da instrumentação (Seção 2-2).



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

PÁGINA

88/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4

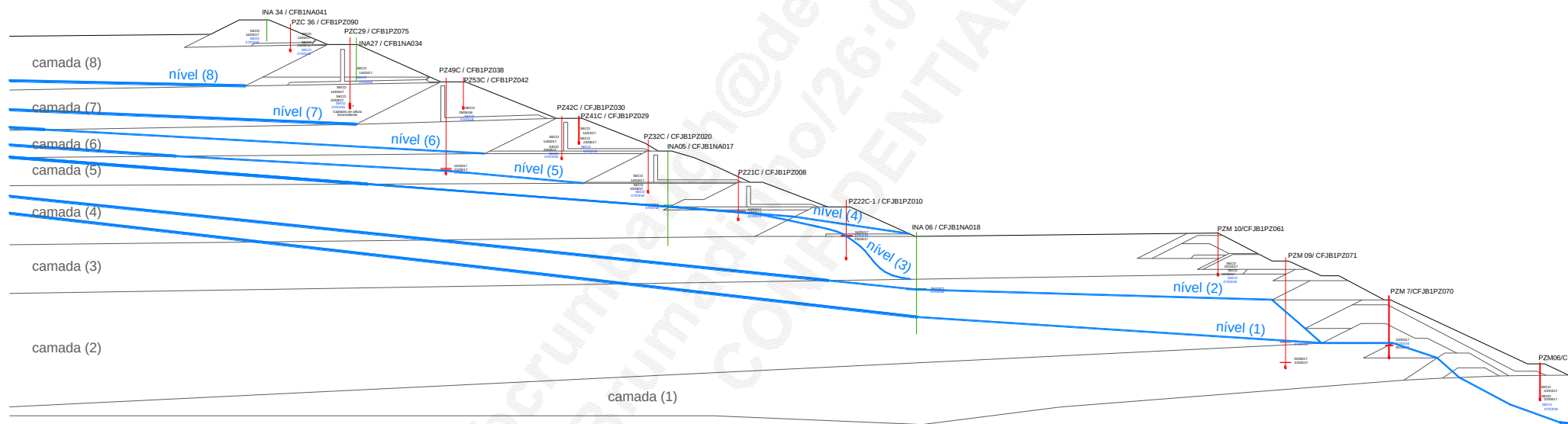


Figura 10.7 – Níveis piezométricos atuantes em cada camada de rejeito, interpretados a partir da análise da instrumentação (Seção 3-3).



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

89/265

REV.

4

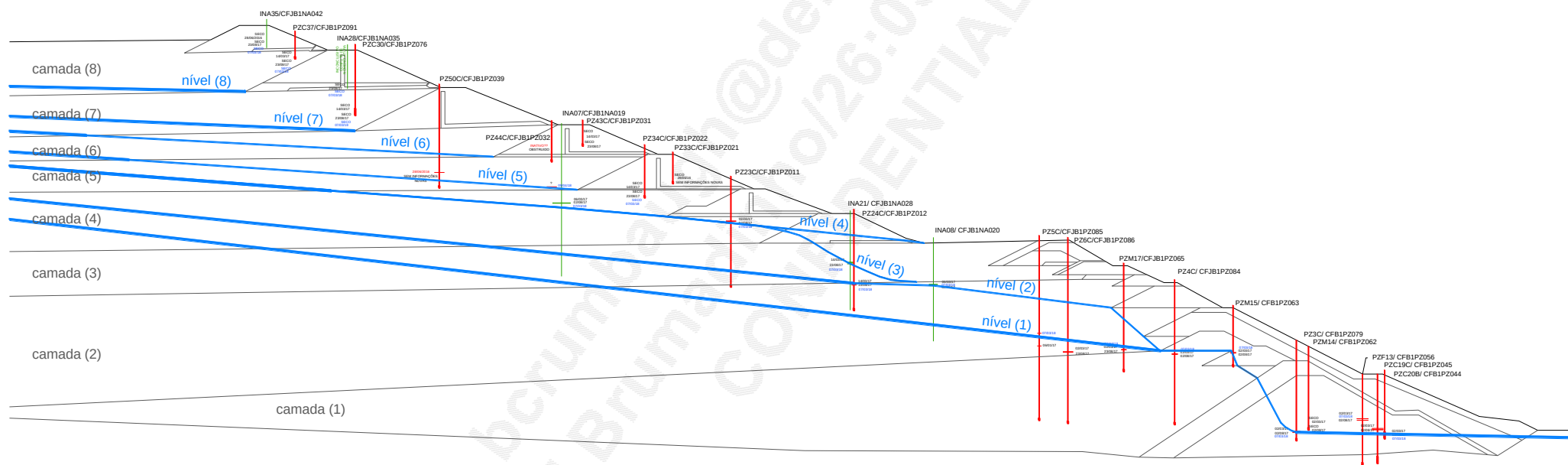


Figura 10.8 – Níveis piezométricos atuantes em cada camada de rejeito, interpretados a partir da análise da instrumentação (Seção 4-4).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 90/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

10.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

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 efetiva (c') e seu ângulo de atrito efetivo (ϕ'); e análise não-drenada, na qual os materiais saturados suscetíveis à liquefação apresentam resistência não-drenada (s_u) e os demais materiais mantêm sua resistência drenada (c' e ϕ').

Estas análises sob condição não-drenada, portanto, mesclam conceitos distintos onde se avaliam concomitantemente resistências drenadas e não-drenadas. Apesar de ser uma abordagem heterodoxa e não usual, trata-se de metodologia que vem sendo aplicada sistematicamente, baseada em Olson (2001).

A definição dos parâmetros geotécnicos necessários é apresentada na sequência.

10.3.1 Parâmetros de resistência – Condição drenada

Para as análises sob condição drenada, a adoção dos parâmetros geotécnicos foi baseada na análise da documentação existente de projetos, “As Built” e Avaliações de Segurança. Grande parte da informação refere-se aos últimos alteamentos da barragem. Destaca-se que o maciço inicial e os primeiros alteamentos carecem de informações a respeito da caracterização geomecânica de seus materiais constituintes e, assim sendo, os valores adotados para eles envolvem mais incertezas.

Os parâmetros geotécnicos adotados para as análises sob a condição drenada são apresentados no item 10.3.3, na Tabela 10.1.

10.3.2 Parâmetros de resistência – Condição não-drenada

Para as análises sob condição não-drenada, a primeira avaliação a ser realizada é referente à suscetibilidade dos materiais à liquefação. Uma condição necessária e suficiente para que o material seja suscetível à liquefação é não possuir coesão e apresentar índice de vazios superior ao crítico (tendência de redução de volume durante uma ruptura não-drenada).

Considerou-se que apenas os rejeitos saturados sejam suscetíveis, eliminando-se assim desta análise os demais materiais existentes (aterros, fundação, etc).

Para analisar a suscetibilidade do rejeito à liquefação, recorreu-se à interpretação dos ensaios CPTu apresentada no Apêndice E. Os rejeitos foram simplificadamente classificados como coesivos (com excesso de poropressão gerado pela cravação do cone, baixa resistência de ponta e razão de atrito elevada) ou não-coesivos (sem excesso de poropressão, com elevada resistência de ponta e reduzida razão de atrito).

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 91/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

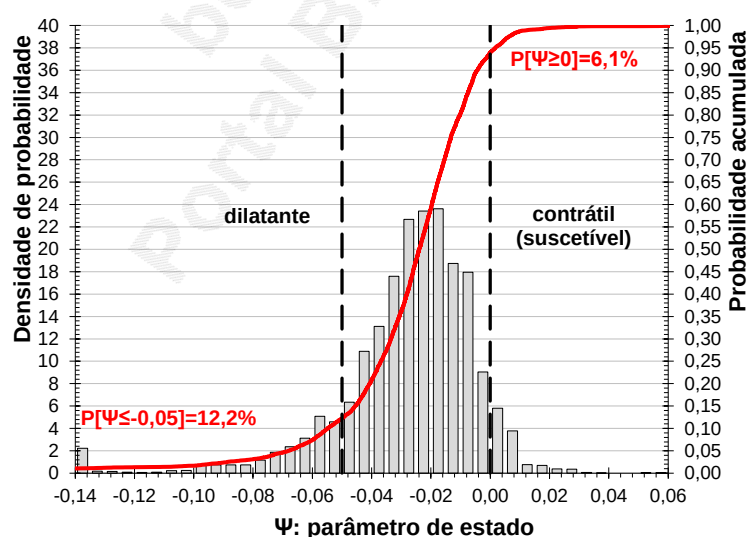
É importante salientar que a classificação aqui apresentada é indireta e baseada na resposta do piezocone ao comportamento geomecânico do material ensaiado. Portanto, esta classificação envolve alguma incerteza por não corresponder aos critérios convencionais que se baseiam na granulometria e na plasticidade do material.

Os rejeitos classificados como coesivos foram considerados não-suscetíveis. Para os rejeitos não-coesivos, a classificação foi complementada pelo parâmetro de estado (Ψ) e pela compactidade relativa (D_r).

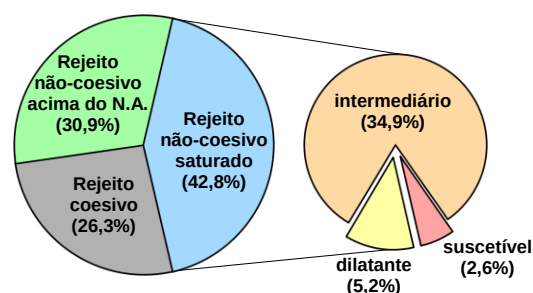
O parâmetro de estado se refere à diferença entre o índice de vazios *in-situ* e o índice de vazios crítico do material ($\Psi = e_0 - e_c$). Deste modo, de acordo com Robertson (2010b), valores de $\Psi \leq -0,05$ indicam um estado compacto com tendência a dilatação ao ser cisalhado, enquanto que valores de $\Psi \geq 0$ indicam um estado fofo com tendência a contração (susceptível à liquefação). Valores intermediários $-0,05 < \Psi < 0$ são referentes a um comportamento de difícil caracterização, transicional entre o contrátil e o dilatante (a favor da segurança, suscetível).

A compactidade relativa indica o estado do material com relação às suas condições mais fofas ou compactas possíveis ($D_r = e_{máx} - e / e_{máx} - e_{min}$). Usualmente, um material compacto apresenta $D_r \geq 66\%$ enquanto que um material fofo apresenta $D_r \leq 33\%$ (susceptível à liquefação).

Com isto, apresenta-se na Figura 10.9 (a) a análise estatística dos resultados de parâmetro de estado obtidos com os ensaios CPTu para os rejeitos não-coesivos saturados. Foi encontrado 6,1% de rejeito suscetível à liquefação, 12,2% de rejeito dilatante e 81,7% de rejeito com comportamento intermediário. Entretanto, ao ser considerada a totalidade dos rejeitos ensaiados, conforme apresenta-se na Figura 10.9 (b), tem-se 2,6% de rejeito suscetível, 5,2% de rejeito dilatante e 34,9% de rejeito com comportamento intermediário.



a) apenas rejeitos não-coesivos saturados



b) todos os rejeitos

Figura 10.9 – Análise de suscetibilidade do rejeito a partir do parâmetro de estado.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 92/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Similarmente, apresenta-se na Figura 10.10 (a) a análise estatística dos resultados de compacidade relativa obtidos com os ensaios CPTu, também para os rejeitos não-coesivos saturados. A Figura 10.10 (b) apresenta a totalidade dos rejeitos ensaiados, tendo sido encontrado 0,7% de rejeito suscetível, 1,5% de rejeito dilatante e 40,6% de rejeito com comportamento intermediário.

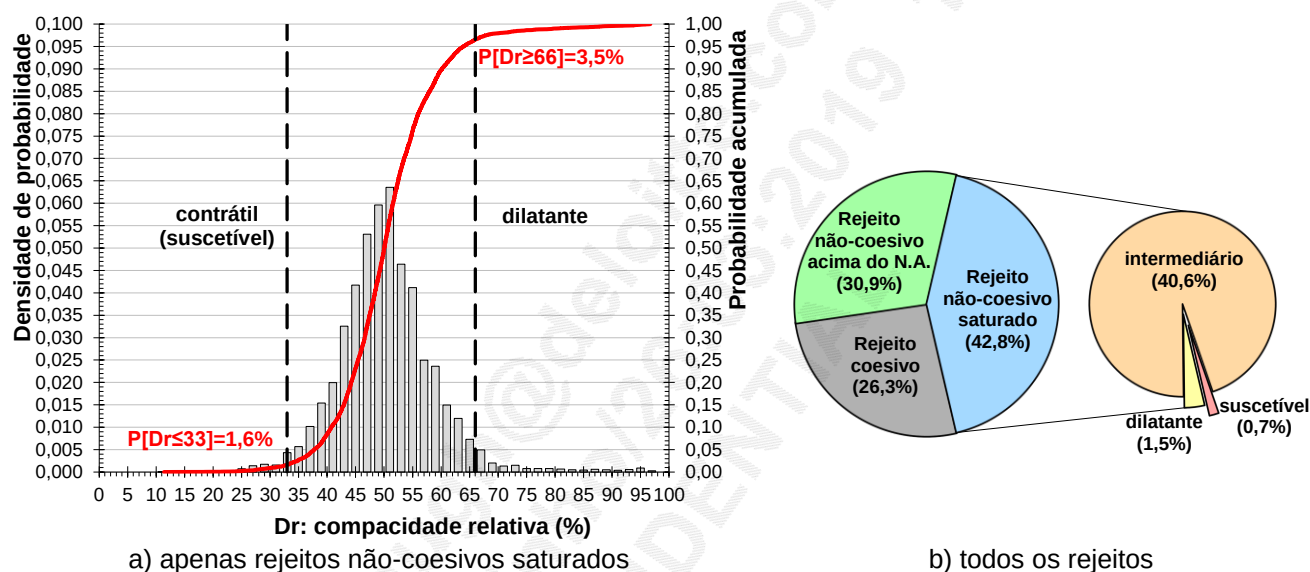


Figura 10.10 – Análise de suscetibilidade do rejeito a partir da compacidade relativa.

A partir de ambas análises, do parâmetro de estado e da compacidade relativa, é possível afirmar que a maior parte do volume de rejeito da Barragem I não é suscetível à liquefação (57% de rejeito coesivo ou de rejeito não-coesivo acima do N.A.) e que o material restante é composto essencialmente por um rejeito de comportamento intermediário, entre dilatante e contrátil. Os rejeitos efetivamente suscetíveis foram encontrados em proporção reduzida. Todavia, deve-se ter em mente que esta análise se baseou nos ensaios CPTu, os quais podem não representar fielmente a distribuição probabilística do volume total de rejeito (loais mais suscetíveis não ensaiados), e que seus resultados foram obtidos a partir de correlações que podem apresentar erros intrínsecos.

A classificação dos rejeitos, conforme descrita, possibilitou que os diferentes tipos de comportamento fossem localizados na barragem. A Figura 10.11 e a Figura 10.12 apresentam a setorização do rejeito de acordo com sua classificação, respectivamente para as seções transversais 2-2 e 3-3. Observa-se que não é possível definir regiões de comportamento similar, por exemplo áreas onde se esperava haver material tipicamente de praia (rejeito arenoso lançado acima do N.A.) ou áreas distantes da praia (rejeito argiloso lançado submerso). Ao invés disso, são notados rejeitos com comportamento coesivo próximos aos alteamentos. Considera-se, deste modo, que a disposição dos rejeitos foi realizada de maneira errática, não sendo possível estipular uma lógica de setorização, como se faz em modelos geológicos com estratigrafias sedimentares interdigitadas.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

PÁGINA

93/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4

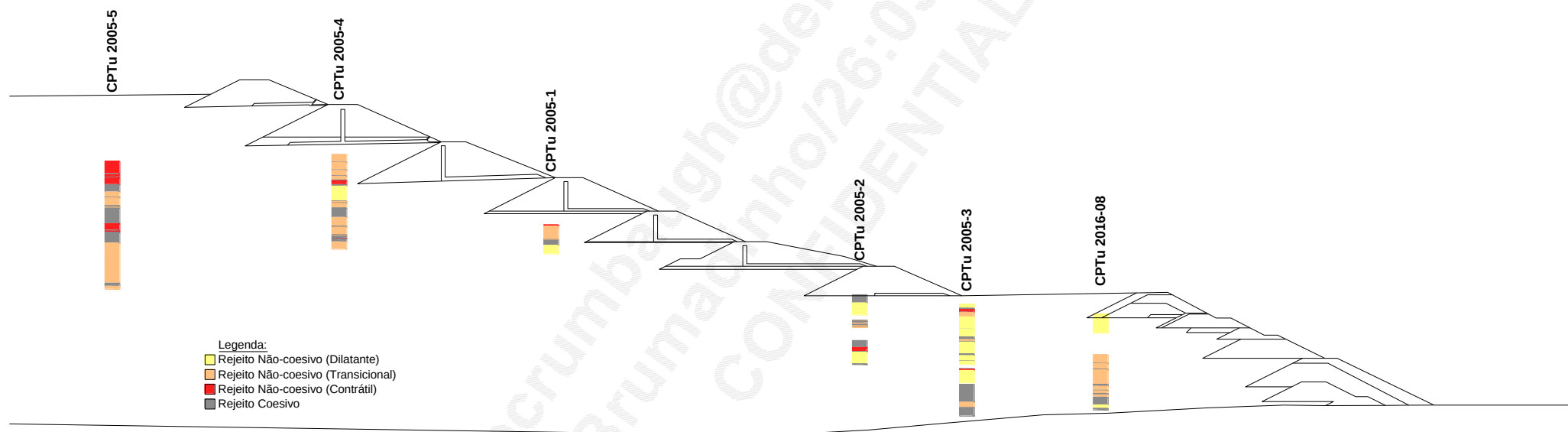


Figura 10.11 – Setorização do rejeito de acordo com sua classificação, Seção 2.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

PÁGINA

94/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4

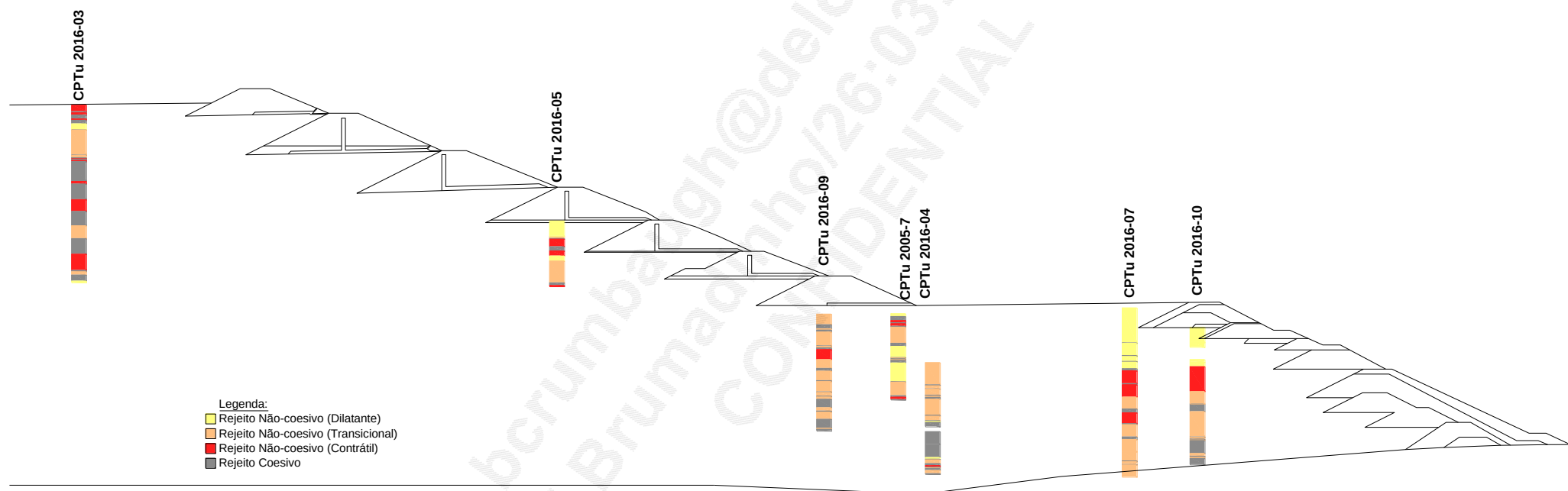


Figura 10.12 – Setorização do rejeito de acordo com sua classificação, Seção 3.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 95/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Somando-se a todo o exposto, a presença de lentes de rejeitos coesivos de baixa permeabilidade e baixa resistência representa um aumento do potencial de liquefação da barragem, por duas razões principais:

- formação de bolsões de materiais não-coesivos fofos, envoltos por um material de baixa permeabilidade que gera acréscimo de poropressão maior que o aumento da tensão total aplicada (efeito *Mandel-Cryer*) e impede a dissipação do excesso de poropressão eventualmente gerado por um gatilho; e
- instauração de um possível gatilho, ao se deformar horizontalmente a lente de material coesivo de baixa rigidez e, assim, submeter o material não-coesivo fofo a uma deformação cisalhante induzida (efeito observado em Fundão).

Por fim, a favor da segurança, optou-se por considerar que a totalidade dos rejeitos saturados seja suscetível à liquefação e, portanto, sendo utilizada a resistência não-drenada para estes materiais nas análises de estabilidade.

Para a determinação da resistência não-drenada dos rejeitos, foram interpretados de três tipos de ensaios (Triaxiais, *Vane Tests* e CPTu), conforme descrito na sequência.

Ensaio Triaxiais

Após análise dos dados brutos dos ensaios em laboratório, em decorrência de algumas inconsistências nos resultados dos ensaios, estes não foram considerados para a determinação da razão de resistência não-drenada s_u/σ'_{v0} . As principais inconsistências observadas foram:

- divergências nos valores de tensão cisalhante e tensão de ruptura na tabela resumo em relação à tabela de aquisição dos dados brutos;
- ausência de um ensaio em que todos os corpos de prova rompidos se comportassem de maneira perfeitamente contrátil;
- ensaios com tensão desviadora negativa;
- os valores calculados de s_u/σ'_{v0} para os ensaios levemente contráteis foram maiores que valores consagrados na literatura (Silva, 2010; Olson, 2003);
- incertezas inerentes à representatividade das amostras coletadas em profundidades relativamente rasas (1,20 a 1,50 m);
- incertezas quanto a ensaios de laboratório: principalmente a amostragem indeformada, mas a moldagem de corpos de prova a partir de amostra deformada também possui viés inexorável de compactação do material em estado fofo.

Ensaio de palheta (*Vane Tests*)

Após análise dos ensaios de palheta, optou-se por não serem considerados seus resultados para a determinação da razão de resistência não-drenada s_u/σ'_{v0} . As principais razões foram:

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 96/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- nem todos os ensaios atingiram patamar de estabilização da tensão cisalhante em função da rotação da palheta, sendo necessária a redução do diâmetro da palheta;
- existem dois conjuntos de resultados de ensaios, para dois diâmetros diferentes de palhetas, não ficando claro qual o diâmetro utilizado para cada ensaio;
- foram realizados ensaios com até 30 m de profundidade, sendo que a flambagem da haste começa a influenciar os resultados a partir de 10 m de profundidade;
- e, principalmente, a velocidade de rotação aplicada durante os ensaios é considerada incapaz de assegurar ao material um carregamento não-drenado, sendo portanto a resistência superestimada pela drenagem e adensamento parcial so solo.

Ensaios CPTu

Apesar de também envolverem incertezas, as condições dos ensaios CPTu são reconhecidamente as mais próximas das desejadas não-drenadas.

A metodologia utilizada para interpretação dos resultados dos ensaios CPTu está apresentada no Apêndice E. Resumidamente, as resistências não-drenadas de pico e residual foram estimadas da seguinte maneira:

- rejeitos não-coesivos, correlações propostas por Olson (2001)

$$S_{u \text{ pico}} / \sigma'_{v0} = 0,205 + (0,0143 \times q_{c,1}) \quad \text{para } q_{c,1} \leq 6,5 \text{ MPa}$$

$$S_{u \text{ resid}} / \sigma'_{v0} = 0,030 + (0,0143 \times q_{c,1}) \quad \text{para } q_{c,1} \leq 6,5 \text{ MPa}$$

$$q_{c,1} = q_c \times 1,8 / [0,8 + (\sigma'_{v0} / p_a)] \quad \text{para } q_{c,1} \leq q_c \times 2,0$$

- rejeitos coesivos, estimativas segundo Robertson (2012)

$$S_{u \text{ pico}} = (q_t - \sigma_{v0}) / N_{kt}$$

$$S_{u \text{ resid}} = f_s$$

$$N_{kt} = 13$$

(regressão linear de todos os resultados)

A Figura 10.13 apresenta a análise estatística de todos os resultados obtidos para a razão de resistência não-drenada de pico ($S_{u \text{ pico}} / \sigma'_{v0}$). Para os rejeitos não-suscetíveis, obteve-se o valor de $S_{u \text{ pico}} / \sigma'_{v0} = 0,30$ para 50% de probabilidade de ocorrência (figuras a e b). Para os rejeitos suscetíveis, foi obtido $S_{u \text{ pico}} / \sigma'_{v0} = 0,26$ (figura c). Tendo-se em conta que a análise de estabilidade considerou um único tipo de rejeito, optou-se por considerar o valor de 50% de probabilidade de ocorrência de todos os resultados juntos, **$S_{u \text{ pico}} / \sigma'_{v0} = 0,26$** (figura d), coincidentemente igual ao valor encontrado para os rejeitos suscetíveis.

Similarmente, a Figura 10.14 apresenta a análise estatística de todos os resultados obtidos para a razão de resistência não-drenada residual ($S_{u \text{ resid}} / \sigma'_{v0}$). Para os rejeitos não-suscetíveis, foram obtidos os valores $S_{u \text{ resid}} / \sigma'_{v0} = 0,12$ e $0,15$ para 50% de probabilidade de ocorrência (figuras a e b). Para os rejeitos suscetíveis, obteve-se $S_{u \text{ resid}} / \sigma'_{v0} = 0,08$ (figura c). Considerando-se o valor de 50% de probabilidade de ocorrência de todos os resultados juntos, pela razão acima, obteve-se **$S_{u \text{ resid}} / \sigma'_{v0} = 0,09$** (figura d).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 97/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

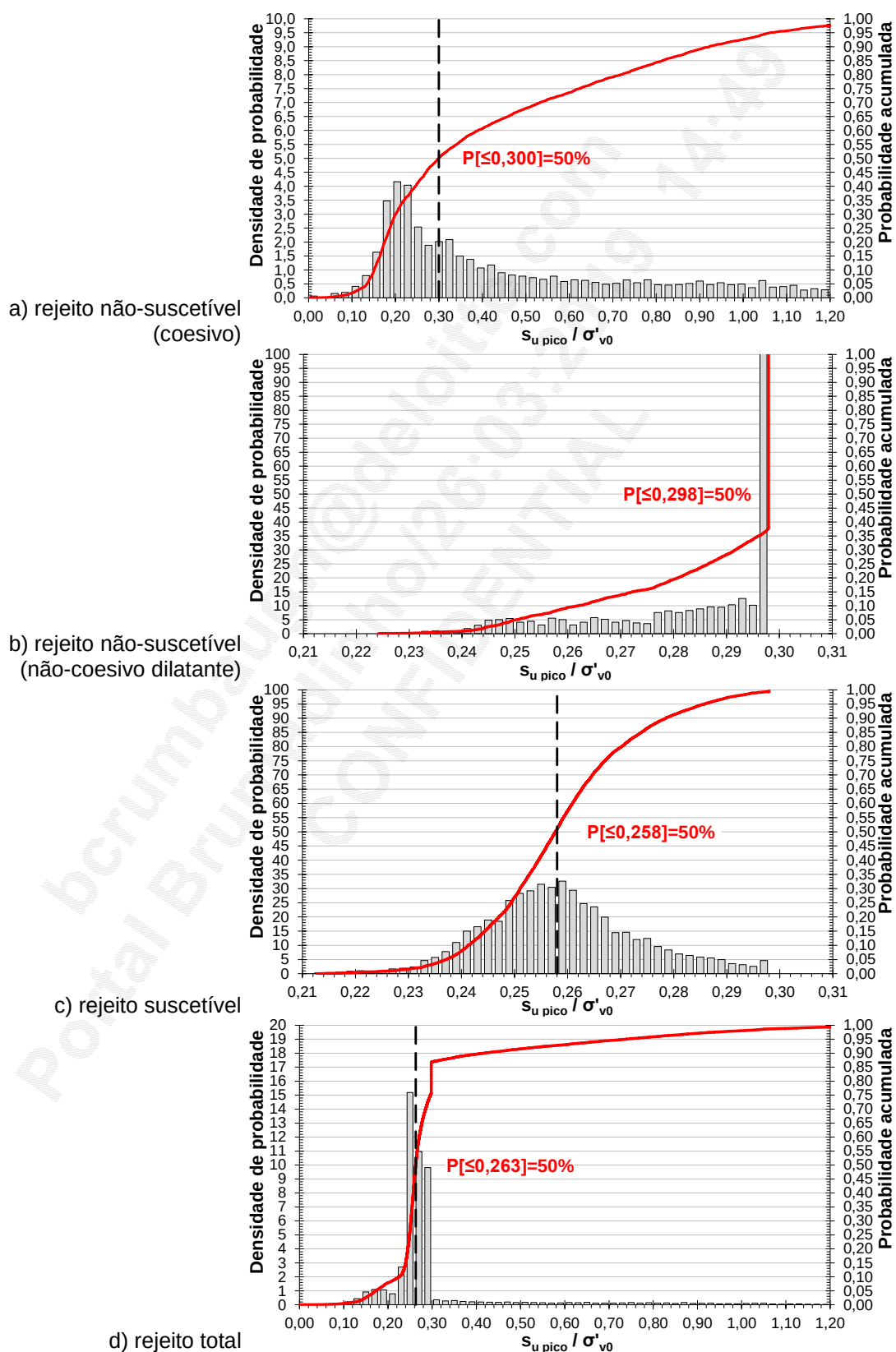


Figura 10.13 – Estimativa da razão de resistência não-drenada de pico a partir dos CPTu.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 98/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

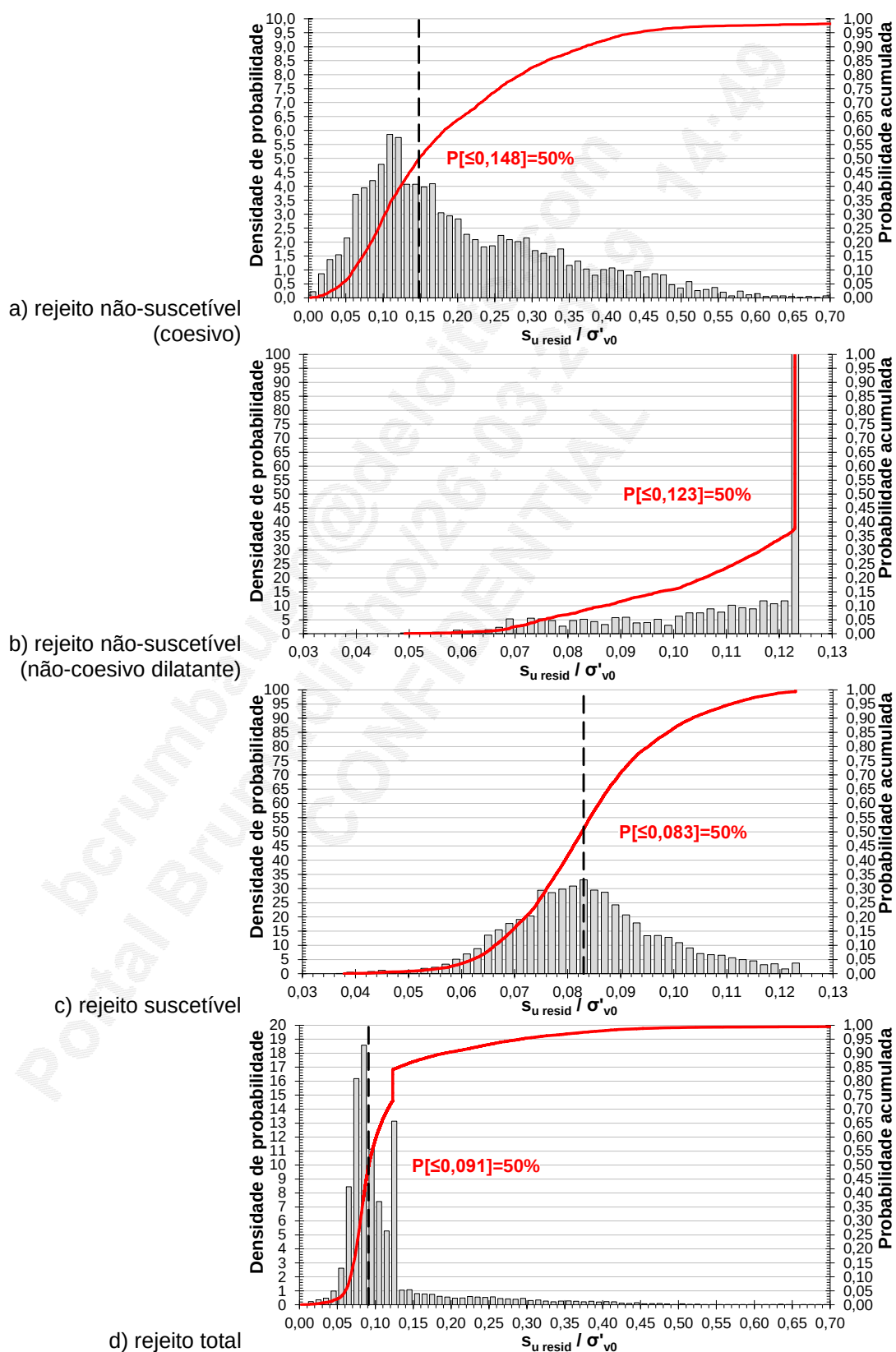


Figura 10.14 – Estimativa da razão de resistência não-drenada residual a partir dos CPTu.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 99/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

10.3.3 Resumo dos parâmetros

Os valores adotados para os parâmetros geotécnicos são apresentados na Tabela 10.1.

Tabela 10.1 – Parâmetros geotécnicos considerados.

Material	γ (kN/m³)	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	---	---

10.4 RESULTADOS DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE– CONDIÇÃO DRENADA

As análises de estabilidade sob condições drenadas foram realizadas utilizando-se os parâmetros geotécnicos apresentados na Tabela 10.1 e impondo-se superfícies de ruptura circulares.

Os Fatores de Segurança obtidos foram **FS = 1,93** (Seção 2-2), **FS = 1,76** (Seção 3-3) e **FS = 1,60** (Seção 4-4), conforme resultados apresentados respectivamente na Figura 10.15, na Figura 10.16 e na Figura 10.17.

Observa-se que as superfícies críticas 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 partida, indicação de que o terço inferior do talude de jusante é o que condiciona a estabilidade da Barragem I sob condições drenadas.

Conclui-se que a Barragem I se encontra estável para o cenário de instabilização do talude de jusante sob a condição drenada. Os fatores de segurança obtidos atendem à norma NBR-13028 (2017), que preconiza fator de segurança mínimo superior a 1,50 para a condição de operação.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 100/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

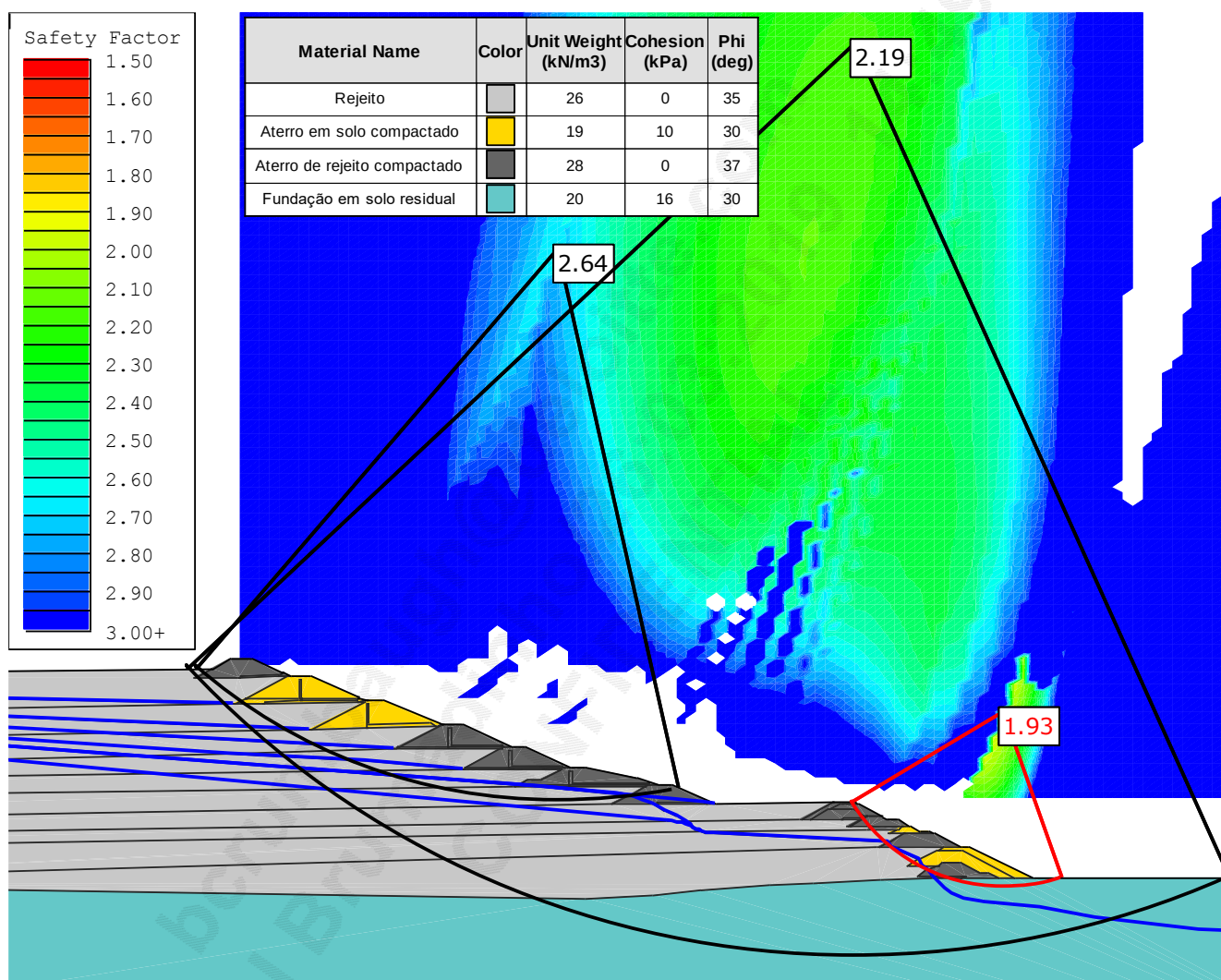


Figura 10.15 – Análise de estabilidade para a condição drenada, superfície circular (Seção 2-2): **FS = 1,93** (Spencer).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 101/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

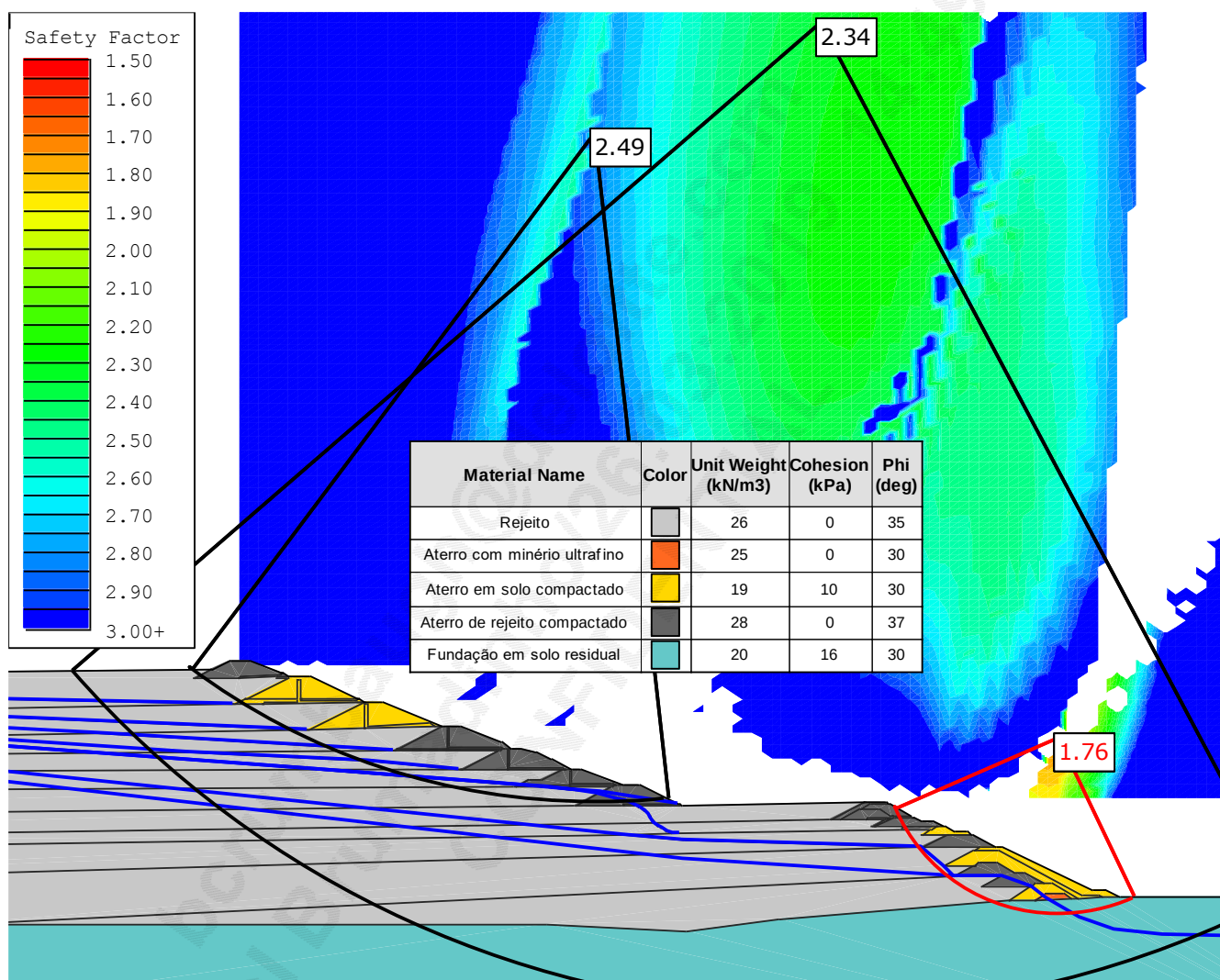


Figura 10.16 – Análise de estabilidade para a condição drenada, superfície circular (Seção 3-3): **FS = 1,76** (Spencer).

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 102/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

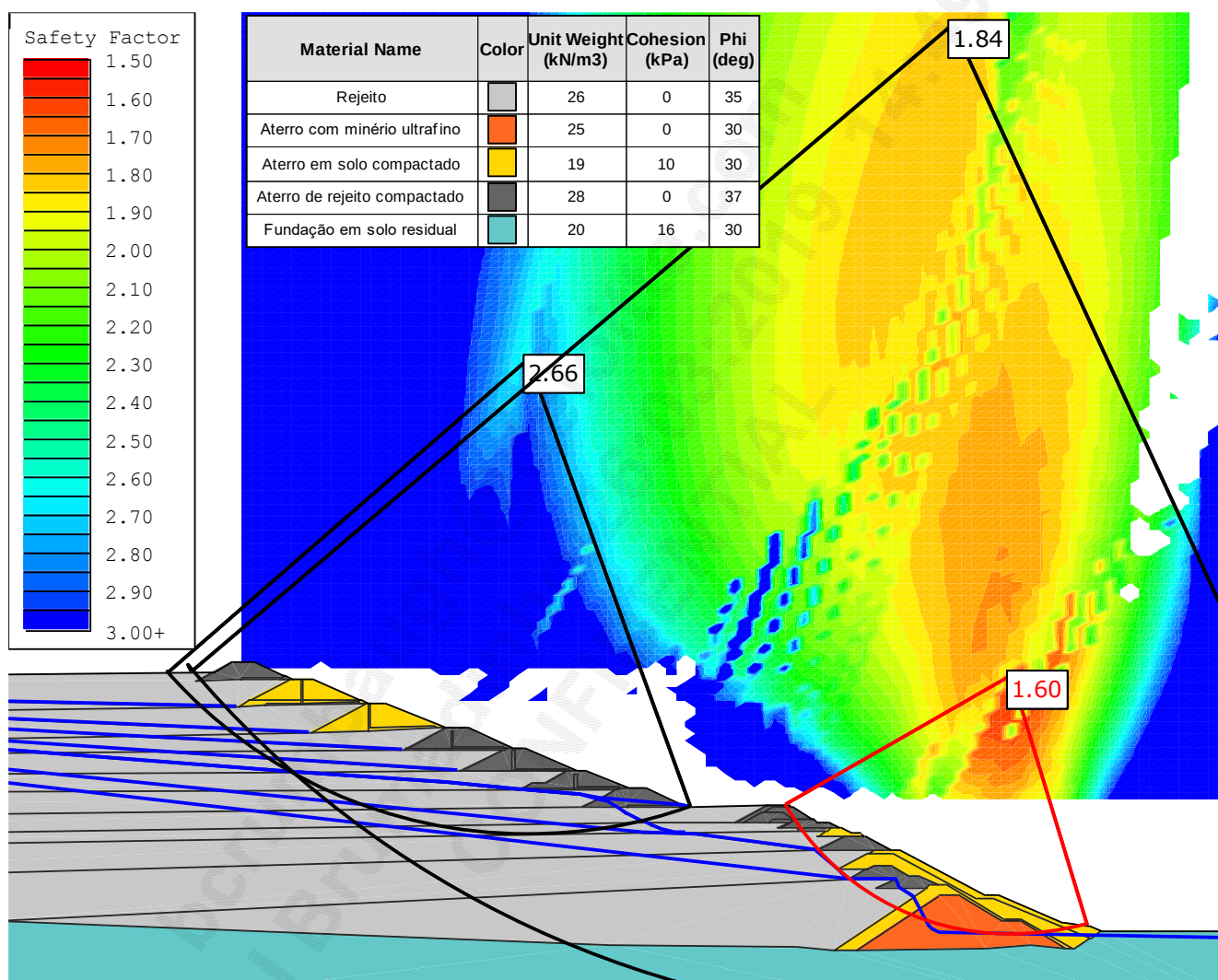


Figura 10.17 – Análise de estabilidade para a condição drenada, superfície circular (Seção 4-4): $FS = 1,60$ (Spencer).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 103/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

10.5 RESULTADOS DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE– CONDIÇÃO NÃO-DRENADA

As análises de estabilidade sob condições não-drenadas têm o intuito de avaliar o potencial de ruptura da barragem por liquefação. A suscetibilidade dos materiais à liquefação foi apresentada no item 10.3.2, tendo sido considerado conservadoramente para a Barragem I que todos os rejeitos saturados são suscetíveis.

Os parâmetros geotécnicos utilizados foram apresentados na Tabela 10.1, sendo consideradas as resistências não-drenadas para os materiais suscetíveis à liquefação e mantendo-se as resistências efetivas para os demais materiais, conforme metodologia que vem sendo utilizada pela Vale com base em Olson (2001).

Para que o fenômeno da liquefação ocorra, além da presença de materiais suscetíveis, há também a necessidade de ocorrência de um gatilho. Os gatilhos podem estar associados a eventos estáticos ou dinâmicos, como: excesso de poropressões por carregamentos rápidos (alçamento rápido da barragem, elevação do nível do reservatório, etc.), excesso de poropressões por abalos sísmicos ou vibrações induzidas (sismos naturais, tráfego de equipamentos, detonações, rupturas de estruturas adjacentes, etc.), aumento das tensões cisalhantes ou deformações cisalhantes impostas (remoção de material do pé da barragem, movimentação da fundação, etc.), entre outros.

Para a avaliação do potencial de liquefação, considerou-se que algo imprevisível possa ocorrer e levar os materiais suscetíveis a atingirem sua resistência não-drenada de pico. A este evento, dá-se o nome de gatilho desconhecido. Outros gatilhos não foram avaliados, por se considerar que sua probabilidade de ocorrência seja mais reduzida que a do gatilho desconhecido.

No caso específico do gatilho de sismo natural, além de sua probabilidade de ocorrência ser reduzida, considera-se que sua análise somente faria sentido se:

- um estudo sismológico fosse disponibilizado, contendo o registro histórico de magnitudes e respectivos tempos de retorno, as zonas sismogênicas, as acelerações equivalentes no local da barragem em função da distância aos epicentros, etc; e
- fossem realizadas análises sísmicas, ao invés de pseudo-estáticas.

Deste modo, as análises de estabilidade realizadas considerando-se um gatilho desconhecido resultaram nos Fatores de Segurança **FS = 1,22** (Seção 2-2), **FS = 1,18** (Seção 3-3) e **FS = 1,09** (Seção 4-4), conforme resultados apresentados respectivamente na Figura 10.18, na Figura 10.19 e na Figura 10.20.

Observa-se que as superfícies críticas têm comportamento global, se desenvolvendo ao longo do rejeito sem interceptar a fundação, englobando o máximo volume possível de rejeito saturado, revelando que nestas condições é crítica a porção superior do talude de jusante da Barragem I.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 104/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

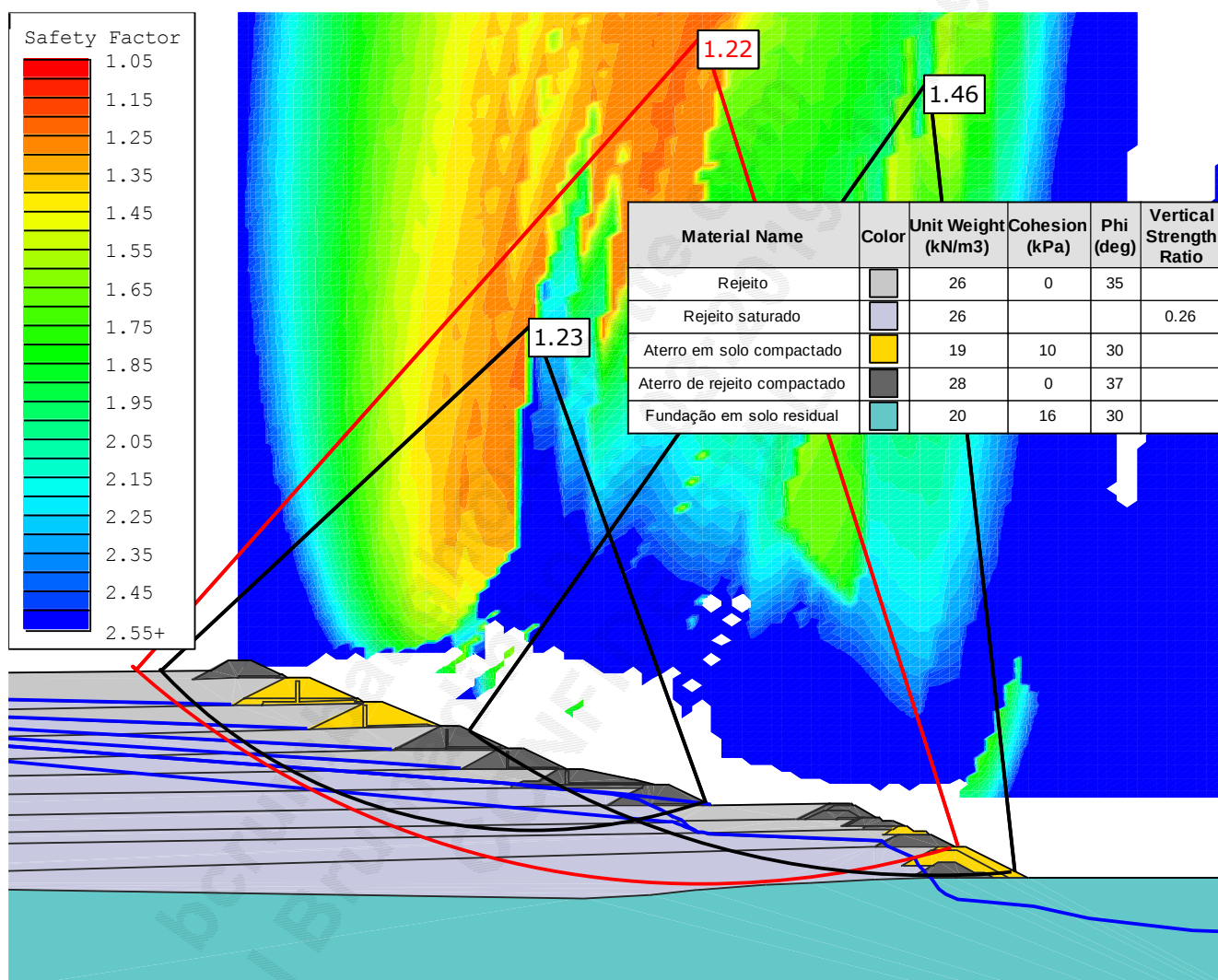


Figura 10.18 – Análise de estabilidade para a condição não-drenada, superfície circular e gatilho desconhecido (Seção 2-2): **FS = 1,22** (Spencer).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 105/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

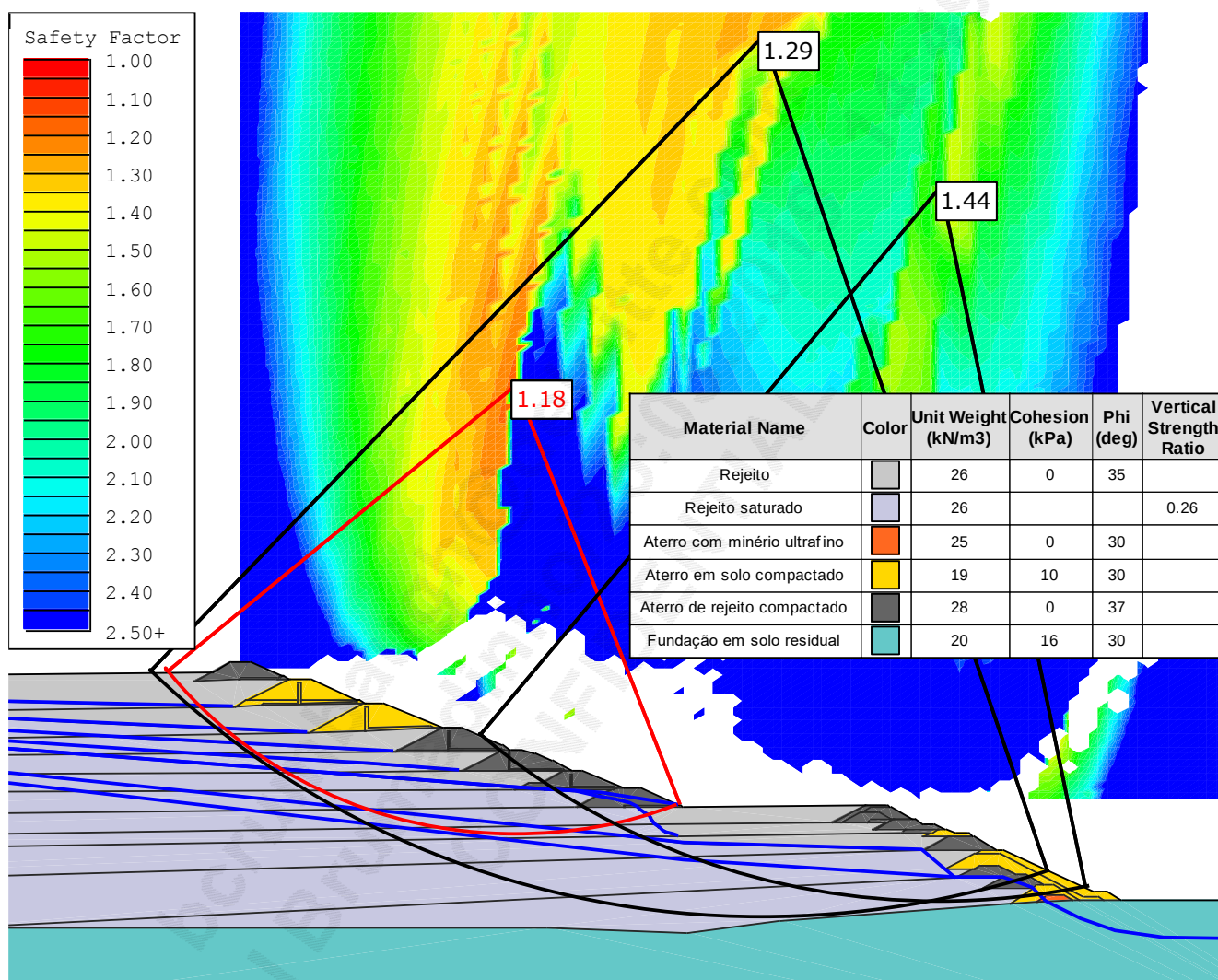


Figura 10.19 – Análise de estabilidade para a condição não-drenada, superfície circular e gatilho desconhecido (Seção 3-3): **FS = 1,18** (Spencer).

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 106/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

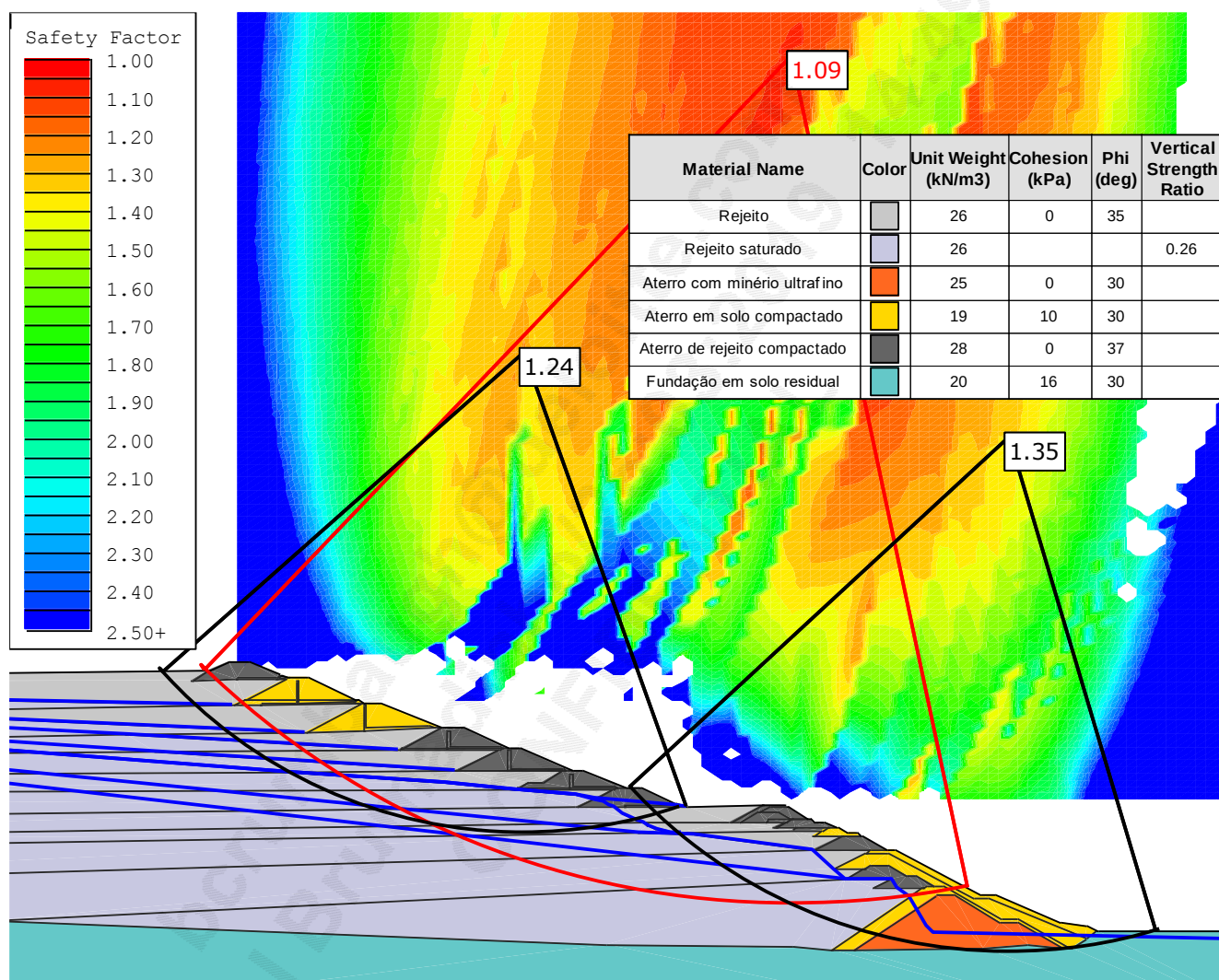


Figura 10.20 – Análise de estabilidade para a condição não-drenada, superfície circular e gatilho desconhecido (seção 4-4): **FS = 1,09** (Spencer).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 107/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

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 gatilho, 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), 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.

Por outro lado, a metodologia de Olson (2001) para análise de liquefação possui incertezas epistêmicas por não representar adequadamente o fenômeno de liquefação estática. Entretanto, por ser um método semi-empírico, ele é seguro quando aplicado dentro do cenário para o qual foi criado.

A razão de resistência não-drenada é um parâmetro variável, associado a uma distribuição de probabilidade de ocorrência, conforme apresentado na Figura 10.13. Por esta razão, optou-se por realizar uma análise de sensibilidade da razão de resistência, para verificar sua influência no Fator de Segurança, conforme apresentado na Figura 10.21.

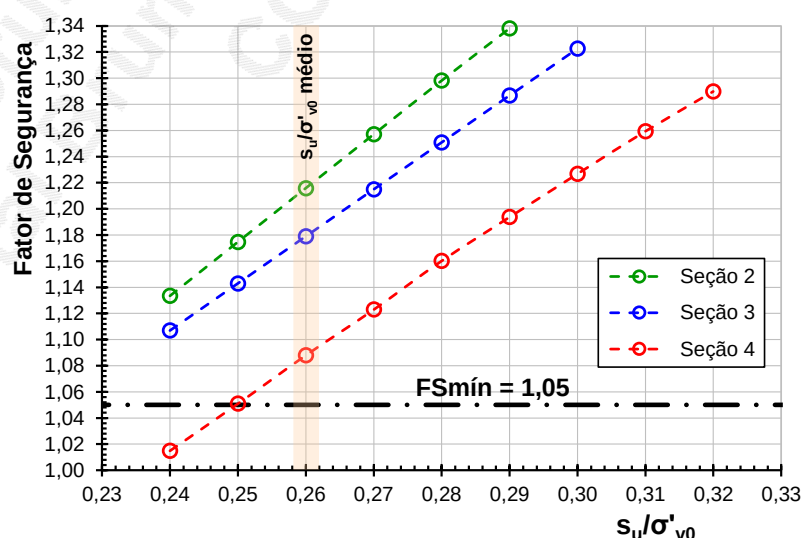


Figura 10.21 – Análise de sensibilidade da razão de resistência não-drenada.

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.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 108/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Cabe salientar que a variabilidade dos parâmetros geotécnicos resulta em uma variabilidade dos resultados (FS) e que esta, por sua vez, implica em uma probabilidade não nula de falha por liquefação. Esta probabilidade, contudo, ainda deve ser ajustada, reduzindo seu valor em função da probabilidade de ocorrência do gatilho da liquefação.

11 AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HIDRÁULICA

Este item tem como objetivo apresentar a avaliação da segurança hidráulica da estrutura a partir do estudo de cheias na estrutura, cujas etapas e metodologia estão descritas abaixo.

11.1 ETAPAS DO ESTUDO

A sequência metodológica adotada para o desenvolvimento dos estudos seguiu a ordem abaixo indicada:

- Definição do sistema hidrológico para cálculo das vazões de cheias;
- Delimitação da área de drenagem (A) considerando as intervenções impostas pela existência: (i) de estruturas de drenagem superficial; e (ii) cavas;
- Cálculo do *Curve Number* (CN) considerando o tipo de solo e as características de uso e ocupação dos terrenos da bacia de contribuição, identificados em campo durante a visita técnica e também com o auxílio de imagens de satélite;
- Determinação do tempo de concentração (t_c) de cada sub-bacia considerando o circuito hídrico atual;
- Determinação da curva Cota x Área x Volume (CAV) do reservatório;
- Cálculo da curva de descarga dos sistemas extravasores das estruturas inseridas no sistema hidrológico analisado;
- Determinação da relação precipitação-duração-frequência (PDF) para a área de estudo;
- Discretização temporal dos quantis de chuva para todas as durações e frequências consideradas;
- Simulação hidrológica de eventos pluviométricos de diversas durações (15 min a 30 dias) e identificação da duração crítica do sistema hidrológico;
- Determinação da vazão máxima defluente e do nível de água máximo (NA máximo *maximorum*) no reservatório.

11.2 MÉTODOS, CRITÉRIOS E PREMISSAS CONSIDERADAS

Os seguintes métodos, critérios e premissas foram considerados durante o desenvolvimento das etapas supracitadas:

- Tempos de retorno (TR) analisados: 1.000, 10.000 e PMP (Precipitação Máxima Provável);

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 109/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- Relação precipitação-duração-frequência (PDF) das chuvas extraída da publicação “Diretrizes para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos Hidráulicos em Obras de Mineração”. Essa publicação descreve os estudos de chuvas intensas válidos para as minas da VALE na região do Quadrilátero Ferrífero, desenvolvidos pela POTAMOS em 2011. No presente estudo foi adotada a relação PDF da Mina do Pico;
- Discretização temporal dos quantis de chuva pelo método de Huff, adotando a curva do 2º quartil e 50% de probabilidade de ocorrência para a distribuição dos blocos de precipitação (CHOW *et al.*, 1988);
- Tempo de concentração obtido pela fórmula empírica de GB Williams nos trechos de talvegue natural, e pelo método Cinemático nos canais de drenagem, cursos d’água e sobre a praia de rejeitos (PINHEIRO, 2011);
- Escoamento de base não considerado, devido à pequena magnitude das vazões de base quando comparadas ao pico dos hidrogramas de cheia;
- Separação da chuva efetiva pelo método do NRCS, com o CN obtido para condição II de umidade antecedente (umidade do solo normal) (SUPHUNVORRANOP, 1985; NRCS, 2004);
- Cálculo dos hidrogramas de escoamento superficial pelo método do hidrograma unitário sintético do NRCS (NRCS, 2004);
- Curva de descarga determinada a partir de simulação hidráulica tridimensional e formulações teóricas apropriadas para a condição de funcionamento hidráulico das estruturas extravasora (U.S. BUREAU OF RECLAMATION, 1987; PORTO, 2006; PINHEIRO, 2011), observando-se os projetos e “*as built*” disponibilizados pela VALE, além de registros fotográficos obtidos durante a visita técnica realizada;
- Propagação da onda de cheia no reservatório pelo método de Puls (CHOW *et al.*, 1988).

Para aplicação dos métodos acima descritos foi utilizado o modelo computacional HEC-HMS 4.2.1, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* do *U.S. Army Corps of Engineers*. Os resultados obtidos são apresentados nos itens seguintes.

11.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

11.3.1 Sistema hidrológico e parâmetros empregados na modelagem

O sistema hidrológico analisado é representado pelo diagrama topológico da Figura 11.1.

A separação da chuva efetiva foi realizada pelo método do NRSC, utilizando o parâmetro CN ponderado para cada sub-bacia de contribuição, de acordo com o uso e ocupação do solo identificado a partir de imagens de satélite, como mostra a Figura 11.2.

Como já mencionado, os tempos de concentração de cada sub-bacia foram estimados pela combinação da fórmula empírica de GB Williams, nos trechos de talvegue natural, com o método Cinemático, nos canais de drenagem, cursos d’água e sobre a praia de rejeitos (PINHEIRO, 2011). O parâmetro *lag time*, igual a 60% do tempo de concentração, foi utilizado para o cálculo dos hidrogramas.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 110/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Os parâmetros físicos de cada bacia e a ponderação do número de curva são apresentados na Tabela 11.1 e na Tabela 11.2, respectivamente.

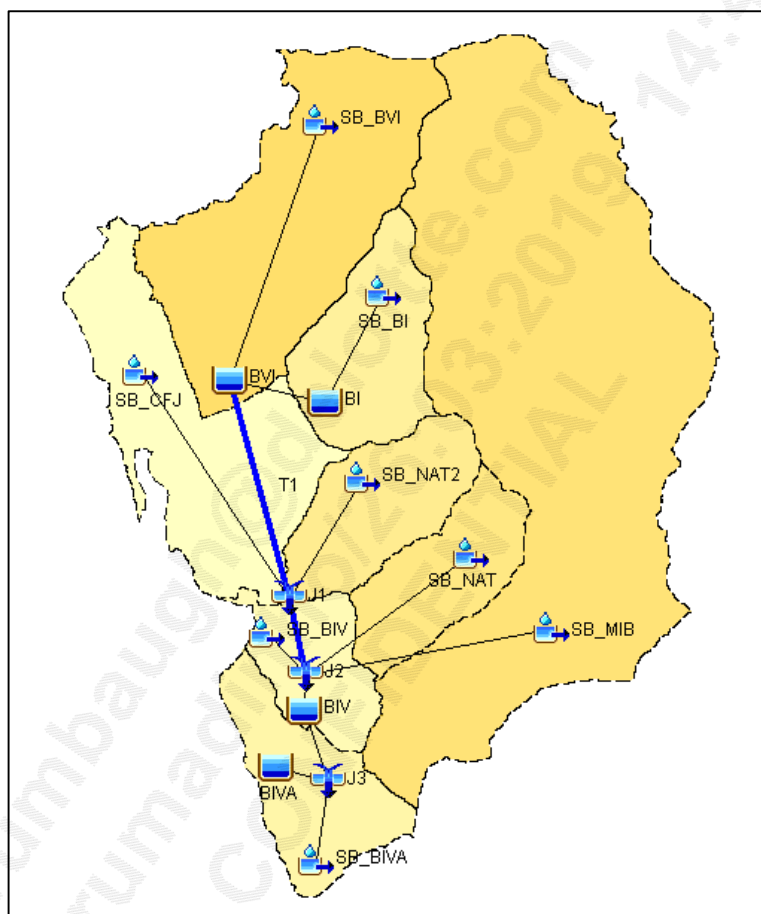


Figura 11.1 – Diagrama topológico do sistema hidrológico analisado.

Tabela 11.1 – Parâmetros físicos das bacias de contribuição da Barragem IV.

Bacia	Área (km²)	Comprimento do talvegue (km)	Declividade média equivalente (S_e) (m/m)	Tempo de concentração (h)	Lag time (h)
Sb_BI	0,844	1,19	0,1357	0,44	0,26

Tabela 11.2 – Ponderação do numero de curva da bacia de contribuição da Barragem I

Bacia	Área (km²)	Uso e ocupação do solo	Tipo de solo	CN	CN ponderado
Sb_BI	0,525	Vegetação Densa	C	62	74
	0,050	Vegetação Rasteira	C	71	
	0,010	Pilhas / Barragens / Aterros	C	70	
	0,259	Lago	C	100	

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 111/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

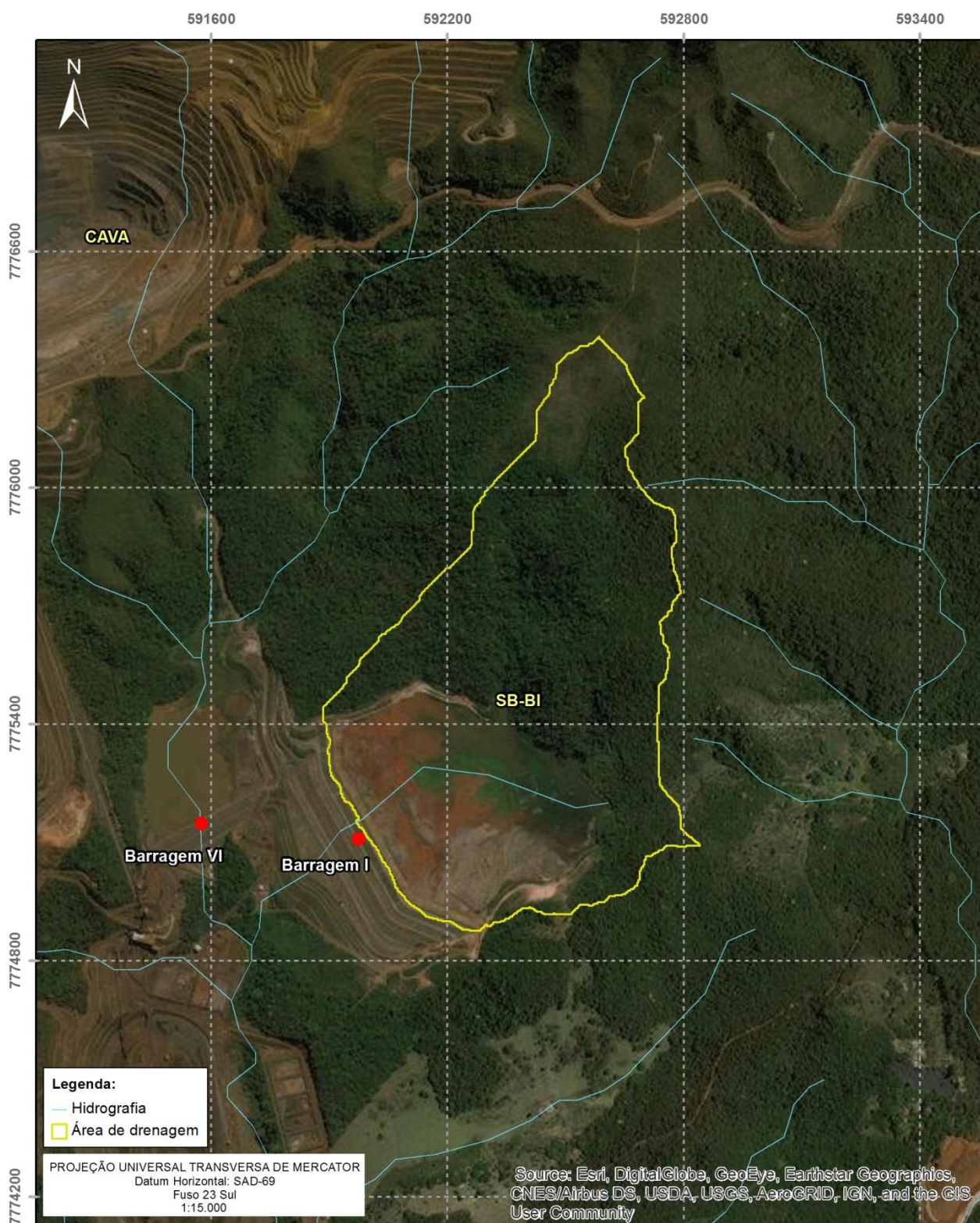


Figura 11.2 – Localização das estruturas que integram o sistema hidrológico avaliado.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 112/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

11.3.2 Curva de descarga do sistema extravasor

A curva de descarga foi elaborada por meio de modelagem hidráulica unidimensional, usando o software SisCCoH para verificação da capacidade de descarga das galerias em escoamento livre, funcionando como canal, conjugada às formulações teóricas apropriadas para os diferentes controles hidráulicos impostos pelo sistema torre-galeria (PORTO, 2006), a saber:

Soleira livre: $Q = CLH^{3/2}$

Na qual:

Q = vazão vertida (m³/s);

C = coeficiente de descarga, adimensional;

L = largura do emboque do vertedouro (m);

H = carga hidráulica acima da soleira (m).

Orifício: $Q = C_d A \sqrt{2gH}$

Na qual:

Q = vazão vertida (m³/s);

C_d = coeficiente de descarga, adimensional;

A = área da seção (m²);

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

H = carga hidráulica acima do eixo do orifício (m).

Conduto forçado: $Q = \sqrt{2g \frac{\Delta H}{\Sigma K}} A \quad \Sigma K = K_E + K_S + K_L + \frac{19,62 \cdot n^2 \cdot L}{R_h^{4/3}}$

Na qual:

Q = vazão vertida (m³/s);

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

ΔH = diferença de nível entre montante e jusante (m);

A = área da seção (m²);

R_h = raio hidráulico (m);

ΣK = somatório dos coeficientes de perda de carga;

K_E = coeficiente de perda de carga na entrada;

K_S = coeficiente de perda de carga na saída;

K_L = demais coeficientes de perda de carga localizada;

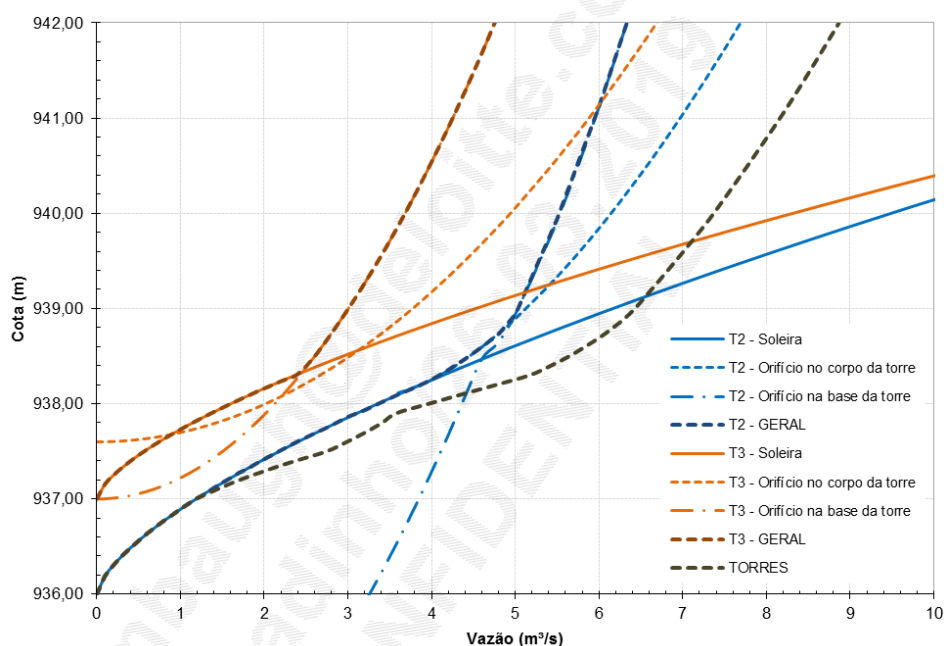
n = coeficiente de rugosidade de Manning;

L = comprimento do conduto (m).

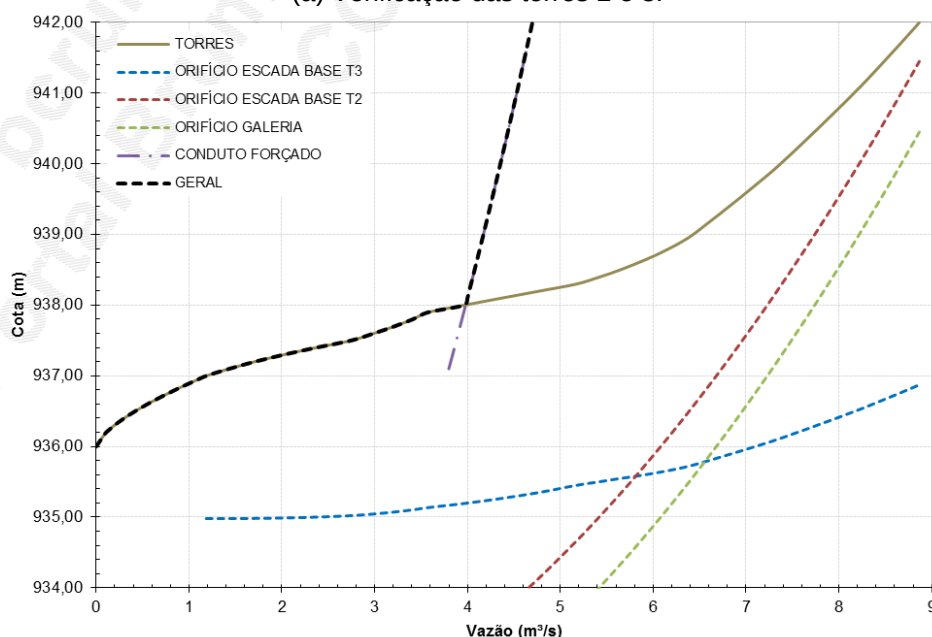
	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 113/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Para a condição de vertimento pelas duas torres (T-2 e T-3), adotou-se uma redução de 20% no somatório das vazões vertidas, de modo a levar em conta uma eventual perda de capacidade de descarga do sistema devido à interferência do fluxo na galeria de encosta.

A curva de descarga obtida para o sistema extravasor da Barragem I é apresentada na Figura 11.3 e na Tabela 11.3.



(a) Verificação das torres 2 e 3.



(b) Verificação do sistema extravasor completo.

Figura 11.3 – Curva de descarga do sistema extravasor da Barragem I.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 114/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 11.3 – Curva de descarga do sistema extravasor da Barragem I.

Nível de água (m)	Vazão (m³/s)	Nível de água (m)	Vazão (m³/s)
936,00	0,00	939,10	4,19
936,10	0,05	939,20	4,21
936,20	0,11	939,30	4,23
936,30	0,20	939,40	4,24
936,40	0,30	939,50	4,26
936,50	0,42	939,60	4,28
936,60	0,55	939,70	4,30
936,70	0,69	939,80	4,32
936,80	0,85	939,90	4,34
936,90	1,01	940,00	4,35
937,00	1,19	940,10	4,37
937,10	1,43	940,20	4,39
937,20	1,71	940,30	4,41
937,30	2,02	940,40	4,42
937,40	2,37	940,50	4,44
937,50	2,75	940,60	4,46
937,60	2,99	940,70	4,48
937,70	3,21	940,80	4,49
937,80	3,41	940,90	4,51
937,90	3,58	941,00	4,53
938,00	3,96	941,10	4,55
938,10	4,00	941,20	4,56
938,20	4,02	941,30	4,58
938,30	4,04	941,40	4,60
938,40	4,06	941,50	4,61
938,50	4,08	941,60	4,63
938,60	4,09	941,70	4,65
938,70	4,11	941,80	4,67
938,80	4,13	941,90	4,68
938,90	4,15	942,00	4,70
939,00	4,17		

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 115/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

11.3.3 Relação precipitação-duração-frequência (PDF)

Os estudos hidrológicos desenvolvidos para o cálculo da probabilidade de galgamento da barragem consideraram a relação precipitação-duração-frequência (PDF) das chuvas da Mina Fábrica, apresentada por Pinheiro (2011) na publicação “Diretrizes para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos Hidráulicos em Obras de Mineração”.

Os tempos de retorno acima de 10.000 anos foram extrapolados a partir das curvas de frequência apresentadas no relatório 0316-RTE003-R01 (“Estudos de Chuvas Intensas na Área de Abrangência da DIFL – Diretoria de Ferrosos Sul e DIFS – Diretoria de Ferrosos Sudeste – MG”, maio de 2011). A extrapolação da relação PDF foi realizada até o limite da Precipitação Máxima Provável (PMP), também apresentada por Pinheiro (2011). Na Tabela 11.4 apresenta-se a referida relação PDF.

Tabela 11.4 – Relação precipitação-duração-frequência – Mina Córrego do Feijão.

Duração	Precipitação (mm)		
	Tempo de retorno (anos)		
	1000	10.000	(PMP)
10 min	40,1	48,0	55,8
15 min	52,6	62,5	72,7
20 min	61,4	72,8	84,6
30 min	73,9	87,3	102
1 hora	95,2	112	130
2 horas	128	152	177
3 horas	147	176	205
4 horas	160	193	224
6 horas	179	216	251
8 horas	193	233	271
10 horas	203	246	286
12 horas	212	256	298
18 horas	231	280	326
24 horas	244	297	345
2 dias	319	388	389
3 dias	388	472	452
5 dias	495	602	579
7 dias	582	707	784
10 dias	687	833	871
15 dias	849	1031	990
20 dias	968	1174	1213
30 dias	1158	1401	1397

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 116/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

11.3.4 Determinação da duração crítica e tempo de retorno associado ao galgamento

A partir dos parâmetros e métodos descritos anteriormente, realizou-se a simulação do sistema hidrológico para todas as durações de chuvas e tempos de retorno considerados. Assim, foi possível identificar a duração do evento pluviométrico que ocasiona a maior sobrelevação do nível d'água no reservatório, verificando-se a ocorrência ou não do galgamento do maciço. Essa duração é definida como duração crítica do sistema.

A Tabela 11.5, a Figura 11.4, a Figura 11.5 e a Figura 11.6 apresentam os resultados da simulação hidrológica decorrente da passagem da Cheia de tempo de retorno de 1.000 anos, 10.000 anos e a Máxima Provável (CMP) pelo reservatório da Barragem I.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS**REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº VALE

-

PÁGINA

117/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4**Tabela 11.5 – Resultados do trânsito de cheias no reservatório da Barragem I.**

Duração	TR 1.000 anos				TR 10.000 anos				PMP			
	Q _{AFLUENTE}	Q _{DEFLUENTE}	NA	Volume	Q _{AFLUENTE}	Q _{DEFLUENTE}	NA	Volume	Q _{AFLUENTE}	Q _{DEFLUENTE}	NA	Volume
	m³/s	m³/s	m	m³	m³/s	m³/s	m	m³	m³/s	m³/s	m	m³
10 minutos	2,85	0,02	936,04	3,69	4,85	0,04	936,07	6,29	7.22	0.06	936.11	9.37
15 minutos	6,10	0,05	936,09	8,06	9,31	0,07	936,14	12,31	13.04	0.11	936.20	17.26
20 minutos	8,42	0,07	936,14	11,84	12,29	0,11	936,20	17,31	16.80	0.17	936.27	23.58
30 minutos	11,55	0,11	936,21	17,88	16,12	0,19	936,29	25,04	21.36	0.28	936.38	33.27
1 hora	15,06	0,24	936,34	29,52	20,26	0,37	936,46	39,64	26.18	0.54	936.59	51.22
2 horas	16,29	0,50	936,56	48,96	21,55	0,77	936,75	64,90	27.00	1.08	936.94	81.57
3 horas	15,05	0,69	936,70	60,32	19,80	1,04	936,91	79,32	24.56	1.36	937.07	98.62
4 horas	13,26	0,82	936,78	67,79	17,39	1,21	937,01	88,61	21.46	1.54	937.14	109.63
6 horas	10,95	0,99	936,89	77,05	14,18	1,39	937,08	100,17	17.34	1.77	937.22	123.02
8 horas	9,19	1,10	936,95	82,56	11,88	1,50	937,12	107,12	14.42	1.93	937.27	130.83
10 horas	7,96	1,18	936,99	86,21	10,28	1,57	937,15	111,64	12.47	2.02	937.30	135.86
12 horas	7,07	1,22	937,01	88,74	9,07	1,63	937,17	114,68	10.99	2.09	937.32	139.11
18 horas	5,31	1,28	937,04	92,66	6,80	1,70	937,20	119,09	8.20	2.18	937.35	143.35
24 horas	4,30	1,29	937,04	93,64	5,50	1,71	937,20	119,72	6.61	2.18	937.35	143.33
2 dias	3,01	1,47	937,11	105,31	3,81	1,94	937,28	131,78	3.82	1.95	937.28	132.10
3 dias	2,54	1,57	937,15	111,63	3,18	2,06	937,31	137,55	3.03	1.94	937.27	131.50
5 dias	2,02	1,58	937,15	112,02	2,51	2,02	937,30	135,61	2.40	1.92	937.27	130.69
7 dias	1,73	1,49	937,12	106,71	2,13	1,87	937,25	128,13	2.38	2.12	937.33	140.19
10 dias	1,45	1,34	937,06	96,94	1,78	1,65	937,18	116,20	1.86	1.73	937.21	120.95
15 dias	1,21	1,18	937,00	86,30	1,48	1,43	937,10	102,93	1.42	1.37	937.08	99.05
20 dias	1,04	1,03	936,91	78,72	1,27	1,25	937,03	90,99	1.32	1.29	937.04	93.72
30 dias	0,84	0,83	936,79	68,37	1,02	1,01	936,90	78,01	1.02	1.01	936.90	77.86

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 118/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

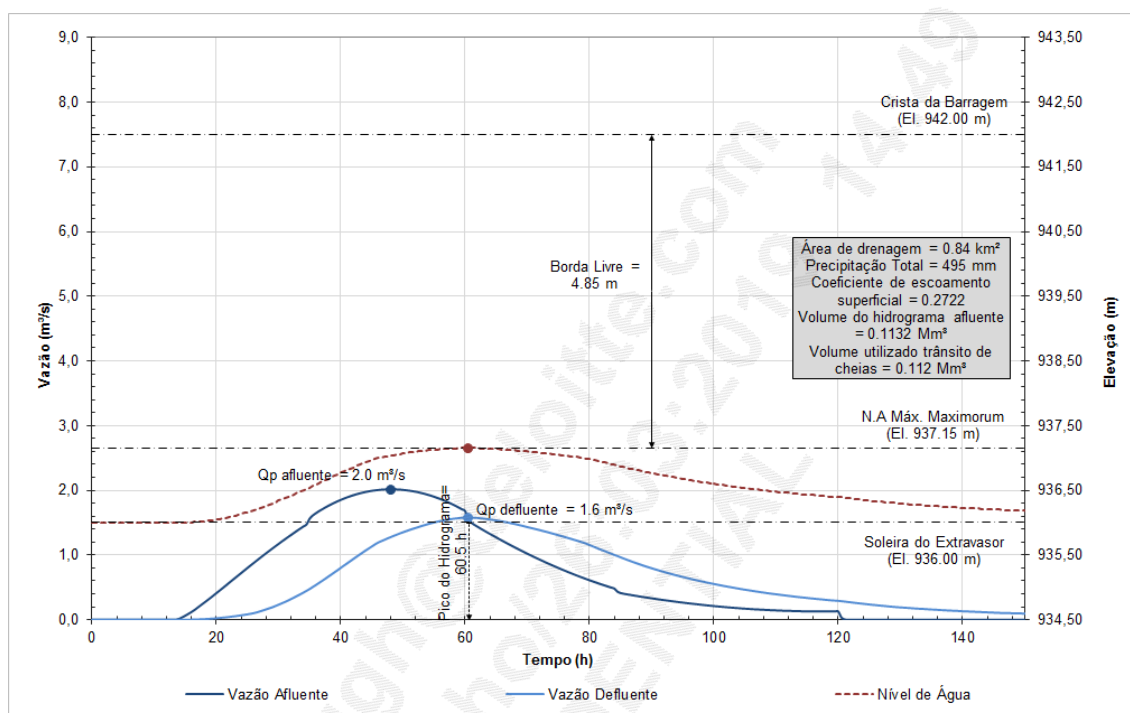


Figura 11.4 – Resultados do trânsito de cheias no reservatório da Barragem I (TR 1.000 anos e duração crítica de 5 dias).

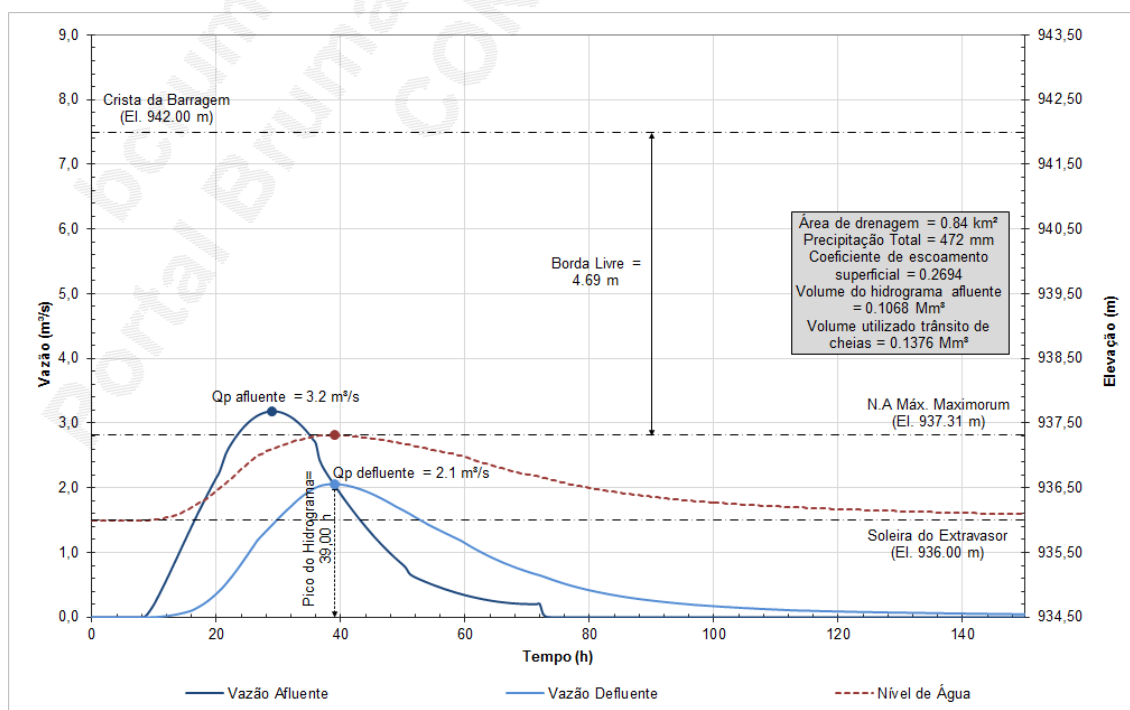


Figura 11.5 – Resultados do trânsito de cheias no reservatório da Barragem I (TR 10.000 anos e duração crítica de 3 dias).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 119/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

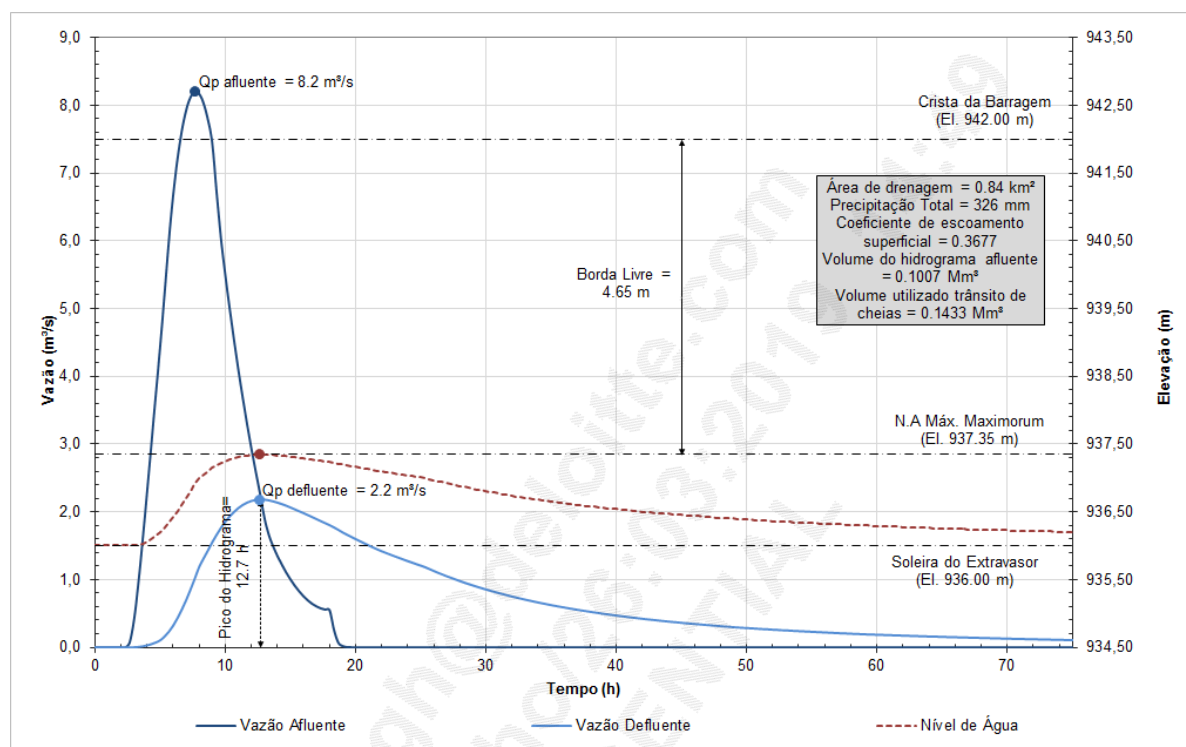


Figura 11.6 – Resultados do trânsito de cheias no reservatório da Barragem VI (PMP e duração crítica de 18 horas).

11.3.5 Simulação de cheia no sistema extravasor

Para a verificação do funcionamento hidráulico dos trechos mais complexos do sistema extravasor da Barragem I foi realizada a avaliação dos perfis de linha d'água e de velocidades ao longo da estrutura por meio de simulações hidráulicas tridimensionais, realizadas com auxílio do modelo computacional *FLOW-3D*®, sendo eles: a torre de queda e a caixa de passagem imediatamente a montante do trecho rápido. Para os demais trechos foram empregados equacionamentos analíticos por se tratarem de estruturas mais simples de serem verificadas hidráulicamente (vide Figura 11.7).

Para isso, foram adotados os critérios e premissas apresentados na Tabela 11.6.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 120/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 11.6 – Premissas e critérios adotados para a simulação hidráulica.

Análise	Trecho verificado
Simulação 3D	Apresentam-se três torres na encosta direita da barragem, estando a primeira imediatamente acima da galeria de fundo, e as demais acima da galeria de encosta.
	As torres possuem 1,20 metros de largura, 1,00 metro de profundidade e altura de 2,80 metros para primeira torre e 5,50 metros para as demais.
	A galeria de encosta possui um trecho em degraus com 0,5 metros de altura, 0,94 metros de comprimento e 1,00 metro de largura, que vence um desnível de 5,00 metros, seguido pela galeria de fundo, com o mesmo 1,00 metro de largura, 1,20 metros de altura e inclinação de 1%.
Equacionamento analítico	As torres de queda estão conectadas a uma galeria de fundo retangular, também construída em concreto, com 1,00 metro de largura, 1,20 metro de altura e inclinação de 1%. A extensão da galeria é de aproximadamente 310 metros, com entrada na EL. 928,63m e saída na EL. 925,50m
Simulação 3D	Na saída da galeria de fundo, há um canal retangular a céu aberto, com 1,00 m de largura e 1,50 m de altura, mantendo a inclinação de 1% e extensão de cerca de 64,30 m, seguido de uma caixa de passagem.
Equacionamento analítico	A jusante da caixa de passagem encontra-se o trecho rápido é dividido em 6 trechos distintos. As declividades de fundo são variáveis (0,660 m/m, 0,120 m/m, 1,000 m/m, 0,060 m/m e 1,000 m/m) e os trechos são divididos em 04 trechos de canal aberto e 2 trechos em galeria fechada.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

121/265

REV.

4

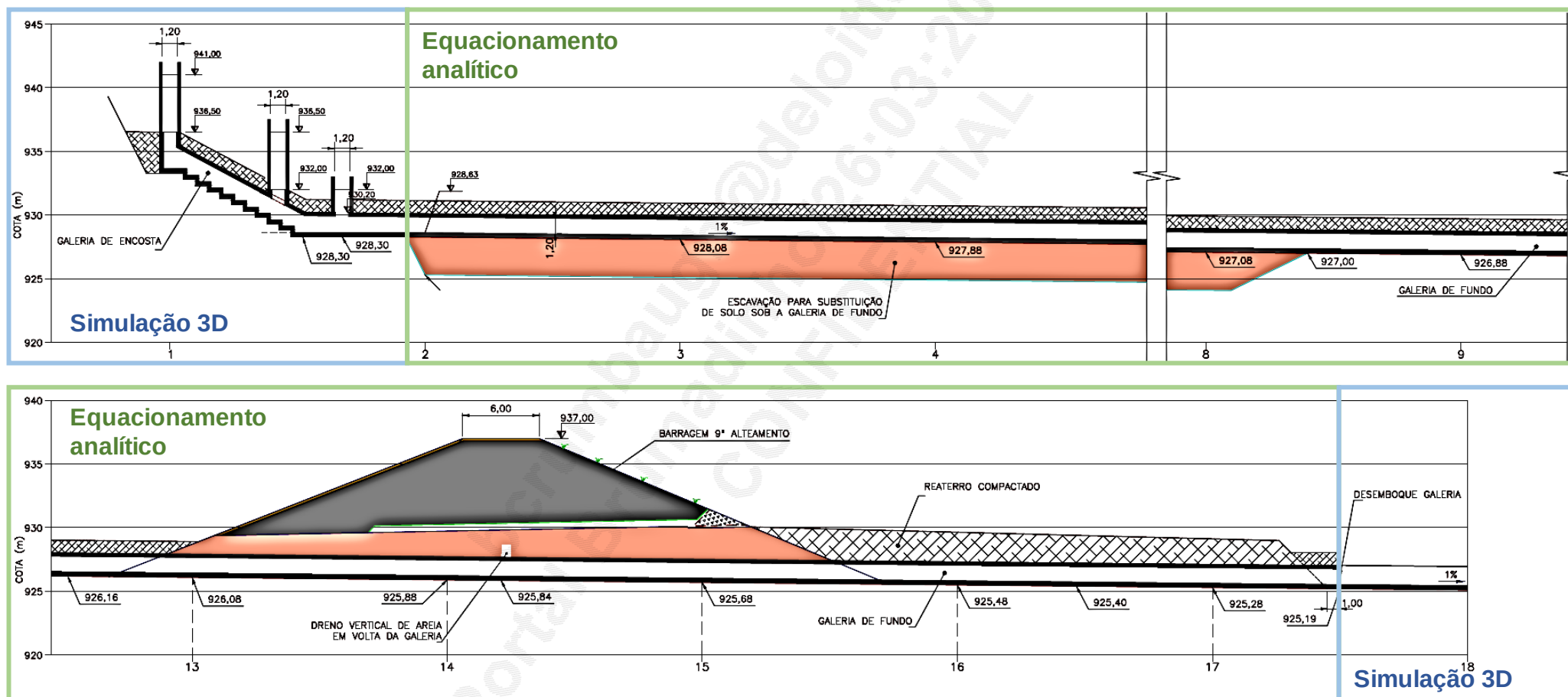


Figura 11.7 – Perfil dos trechos verificados.

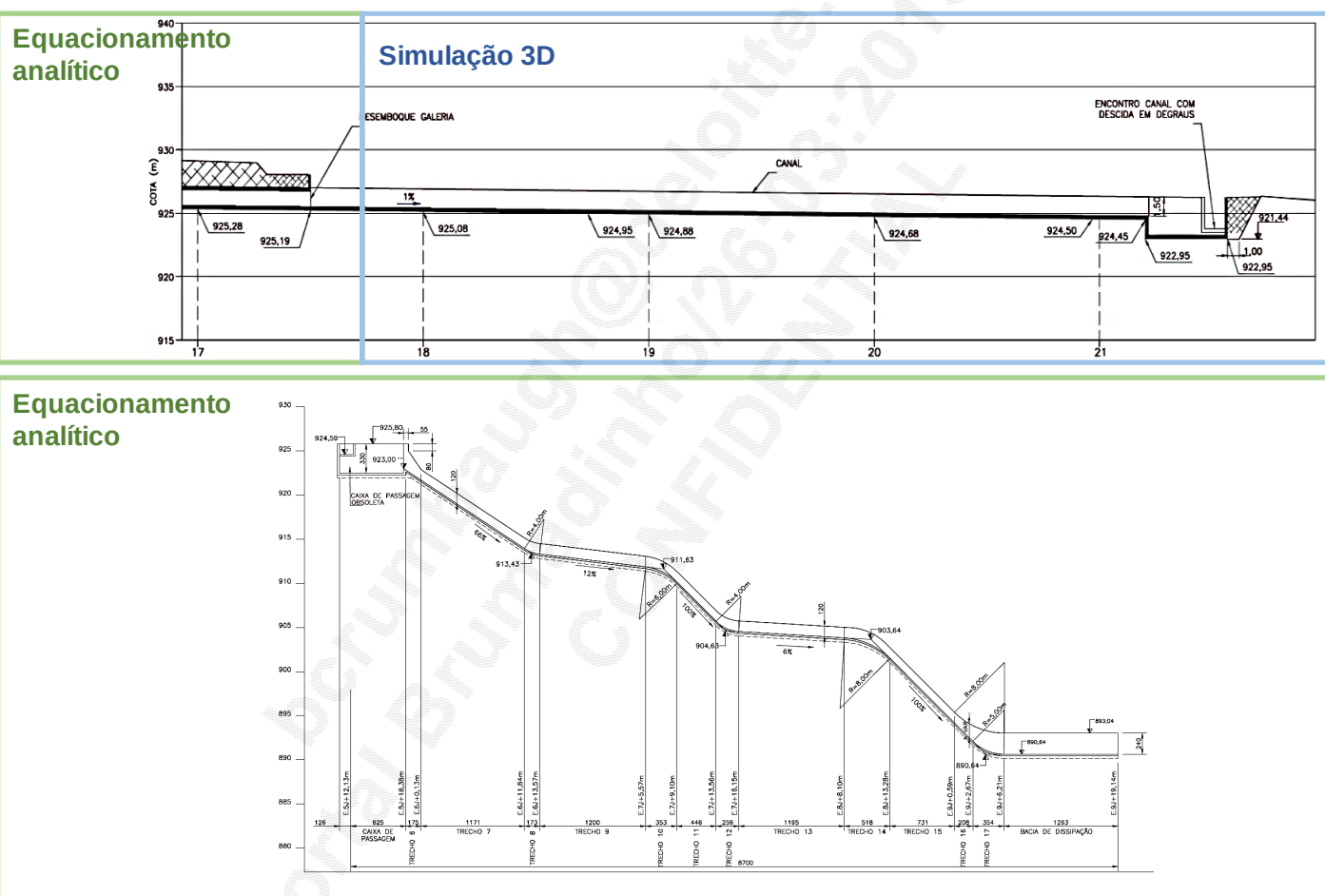


Figura 11.22 – Perfil dos trechos verificados (Continuação)..

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 123/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- Vazão:
 - $Q = 2,36 \text{ m}^3/\text{s}$ (PMP)
- Simulação tridimensional
 - a. Tamanho da malha:
 - (x) 0,10 m; (y) 0,10 m; (z) 0,10 m;
 - a. Modelo de turbulência:
 - $\kappa - \epsilon$ RNG;
 - a. Aceleração da Gravidade:
 - $9,81 \text{ m/s}^2$;
 - a. Características do fluído:
 - Água 20°C ;
 - a. Altura de Rugosidade:
 - Concreto: 0,010 m;
- Equacionamentos analíticos
 - a. Foi empregada a equação de *Manning* com os seguintes parâmetros:

$$Q = \frac{1}{n} * A * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{I}$$

Em que, Q é a vazão de projeto, n é coeficiente de *Manning* (0,018), A é a área molhada, Rh é o raio hidráulico e I é a declividade do trecho.

- b. Para cálculo da sobrelevação adicional dos trechos em curva foi adotada a seguinte equação:

$$\Delta z = \frac{v^2 * T}{2g * R}$$

Em que, Δz é a sobrelevação no lado externo da curva, v é a velocidade média no trecho, T é a largura do topo do canal, g é a aceleração da gravidade e R é o raio da curva (Fonte: PINHEIRO, 2011. *apud* HAESTAD METHODS, 2003).

11.3.5.1 Resultados modelagem tridimensional

A Figura 11.8 apresenta as velocidades do escoamento ao longo das torres de queda. A velocidade máxima do escoamento alcança valores em torno de 11 m/s no interior do emboque, para valores dessa magnitude não são esperados problemas imediatos no concreto da superfície.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

PÁGINA

124/265

REV.

4

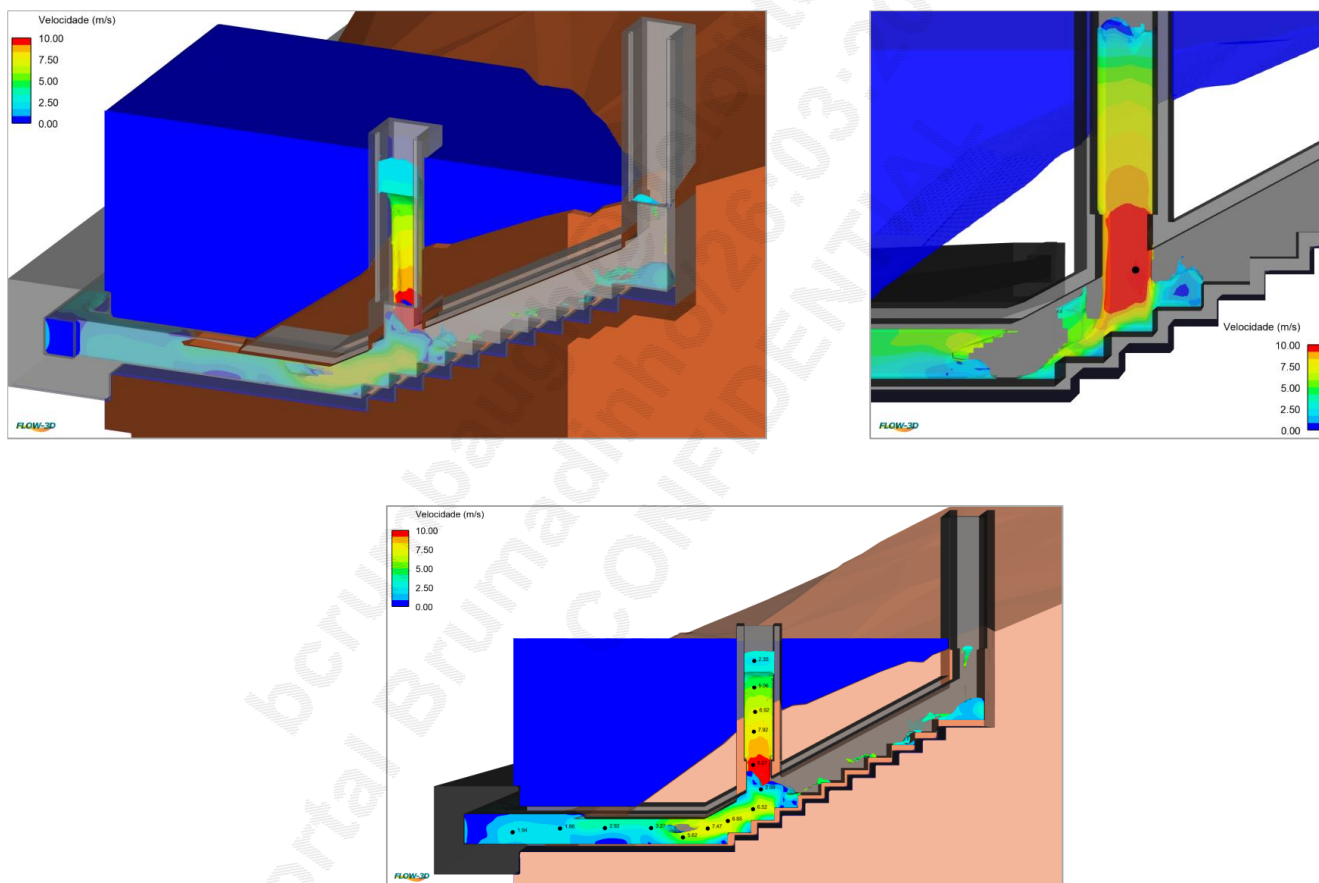


Figura 11.8 – Velocidade do escoamento ao longo da torre de queda.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 125/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tratando-se do potencial de cavitação, as pressões atuantes na superfície da estrutura alcançam valores mínimos em torno de -11 kPa no interior do emboque, conforme apresentado na Figura 11.9. Este valor é inferior à pressão de vapor de -6,0 mca ou 60,8 kPa, confirmando-se o baixo potencial de ocorrência do fenômeno da cavitação, que consiste da formação e colapso de bolhas de vapor quando o escoamento acelera subitamente em um escoamento.

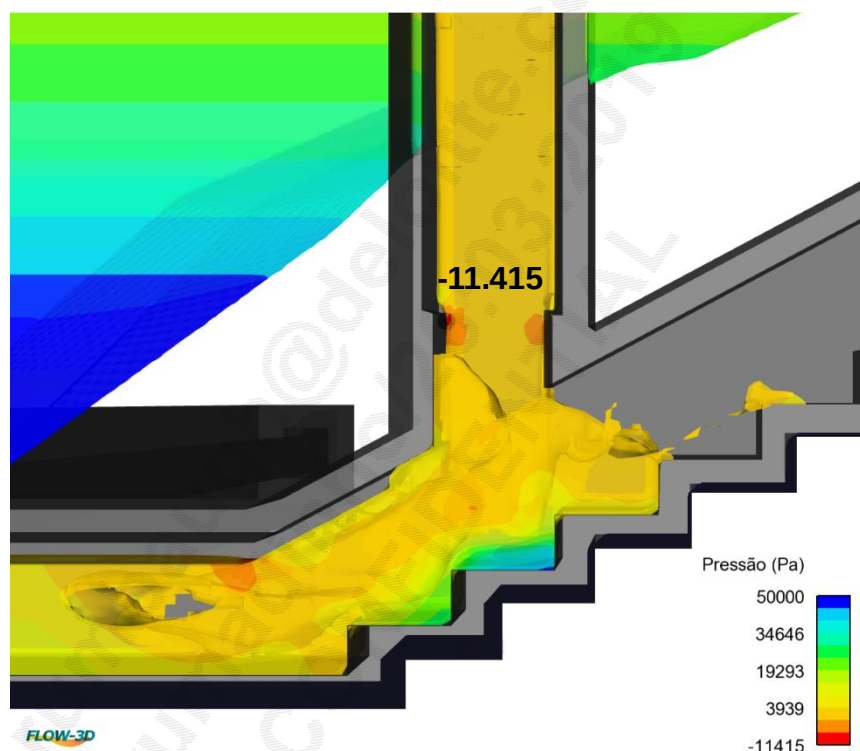


Figura 11.9 – Pressão mínima do escoamento – Detalhe para torre de queda.

A Figura 11.10 apresenta as velocidades do escoamento e os níveis de água ao longo da caixa de passagem. A velocidade máxima do escoamento alcança valores em torno de 6 m/s no interior da caixa, para valores dessa magnitude não são esperados problemas imediatos no concreto da superfície. Também não foram observados galgamentos das paredes ao longo da caixa de passagem.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 126/265
		Nº TUV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

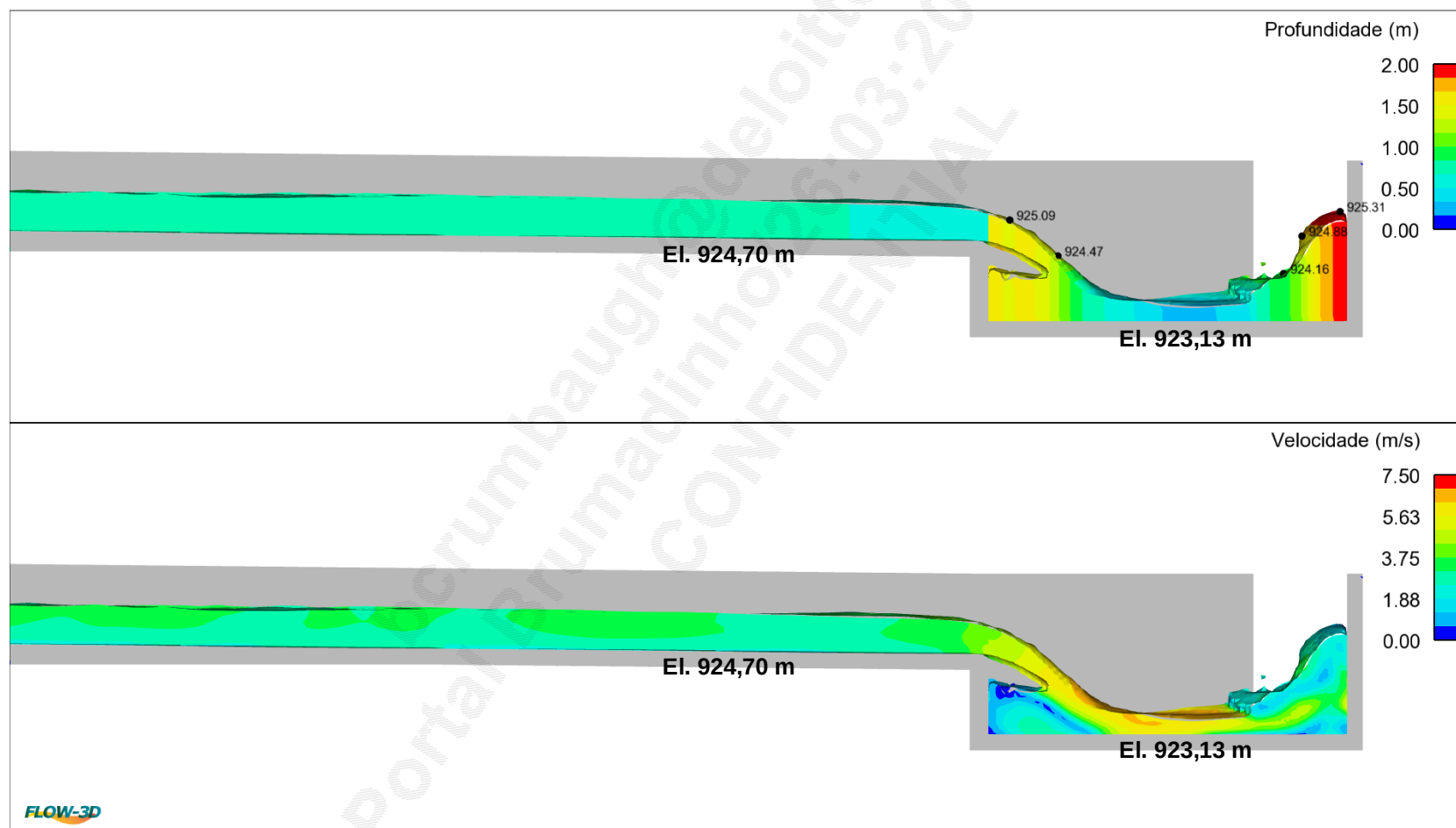


Figura 11.10 – Perfil de profundidade e velocidade do escoamento ao longo do extravasor – Trecho de Canal Retangular em Céu Aberto.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 127/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tratando-se do potencial de cavitação, as pressões atuantes na superfície da estrutura alcançam valor mínimo de -5 kP, conforme apresentado na Figura 11.11. Este valor é superior a pressão de vapor de -6,0 mca ou -60,8 kPa, confirmando-se o baixo potencial de ocorrência do fenômeno da cavitação, que consiste da formação e colapso de bolhas de vapor quando o escoamento acelera subitamente em um escoamento.

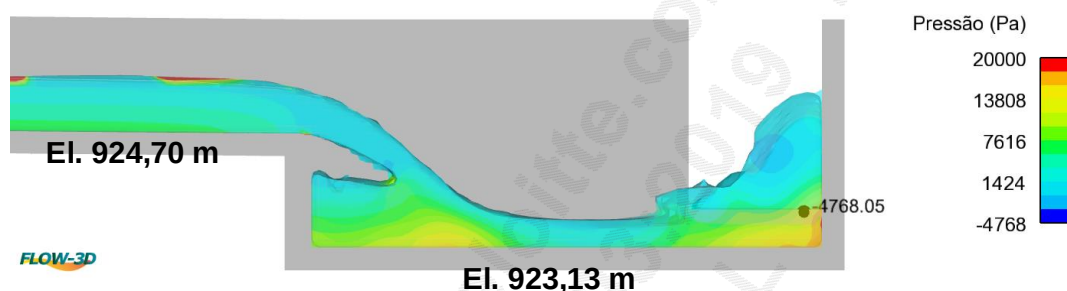


Figura 11.11 – Pressão mínima do escoamento – Detalhe para interior do canal retangular em céu aberto.

11.3.5.2 Resultados da verificação analítica

Todo o trecho da galeria foi calculado assumindo-se escoamento uniforme e empregando-se o equacionamento de *Manning*, a profundidade máxima nesse trecho está em torno de 0,90 m. Verificou-se que a curva com menor raio (10 m) nesse trecho proporciona uma sobrelevação de 0,03 m no escoamento. Dessa forma, como a galeria apresenta 1,20 m de altura a mesma não trabalha sob pressão. A velocidade máxima média nesse trecho está em torno de 2,61 m/s.

O trecho rápido foi analisado assumindo-se as mesmas premissas citadas no parágrafo anterior, a Tabela 11.7 resume os resultados, não são esperados para este trecho problemas com as velocidades e níveis de água.

Tabela 11.7 – Resultados da verificação hidráulica no trecho rápido.

Trecho	Q (m³/s)	I (%)	I (m/m)	L (m)	V (m/s)	y (m)	Parede	Borda livre (m)
Trecho 1	2,36	66	0,66	1,75	10,5	0,13	1,2	1,07
Trecho 2	2,36	12	0,12	1,75	6,07	0,22	1,2	0,98
Trecho 3	2,36	100	1	1,75	12,0	0,11	1,2	1,09
Trecho 4	2,36	6	0,06	1,75	4,83	0,28	1,2	0,92
Trecho 5	2,36	100	1	1,75	12,0	0,11	1,2	1,09
Trecho 6	2,36	66	0,66	1,75	10,5	0,13	1,2	1,07

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 128/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

11.4 AVALIAÇÃO DO SISTEMA EXTRAVASOR

Conforme os estudos acima apresentados, ao uma Cheia Máxima Provável transitar pelo reservatório da Barragem I, a borda livre resultante é de 4,65 m, e a vazão defluente decorrente desta cheia, não provoca o transbordamento do sistema extravasor, além de seu comportamento hidráulico se apresentar adequado ao longo de todos os trechos simulados, desta forma, este se encontra aderente à NBR-13028 (2017) para a situação de operação.

12 CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM

A partir da publicação da Lei Federal nº 12.334/2010, o órgão fiscalizador teve como objetivo implantar o cadastro das barragens sob sua jurisdição em um prazo máximo de dois anos. Da mesma forma, tornou mandatória a identificação dos empreendedores e responsáveis pelas barragens, o cadastramento e atualização das informações relativas a essas estruturas.

Ainda de acordo com a Lei Federal nº 12.334/2010, 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 tipos de barramento, mas para aquelas 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, com base nos critérios gerais estabelecidos pelo Departamento Nacional de Produção Mineral, na Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017.

De acordo com estes critérios, a categoria de risco é definida de acordo com as características técnicas, do estado de conservação e do plano de segurança da barragem, ressaltando-se que o estado de conservação da estrutura pode ser preponderante para classificação como risco alto e necessidades de providências imediatas.

A classificação do dano potencial, por sua vez, é definida de acordo com o volume do reservatório, existência de população a jusante e do impacto ambiental e socioeconômico no caso de uma ruptura.

Na sequência são apresentadas as matrizes de classificação padronizadas de acordo com a Portaria DNPM nº 70.389, onde as características aplicadas à barragem em análise encontram-se destacadas. Tais matrizes incluem avaliação das **Características Técnicas**

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 129/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

(Tabela 12.1), incluindo parâmetros como altura, comprimento, vazão de projeto, método construtivo e auscultação, **Estado de Conservação** (Tabela 12.2), que incluem confiabilidade das estruturas extravasoras, percolação, deformações e recalques e deterioração dos taludes/paramentos, e do **Plano de Segurança da Barragem** (Tabela 12.3), que inclui documentação de projeto, estrutura organizacional e qualificação dos profissionais na equipe de segurança da barragem, manuais de procedimentos para inspeções de segurança e monitoramento, plano de ação emergencial (PAE) e relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de análise de segurança.

Destaca-se que a classificação do Estado de Conservação da Barragem I foi baseada na inspeção de campo realizada no dia 03/08/2017, apresentada no item 9.

12.1 CATEGORIA DE RISCO

As Matrizes de Classificação quanto à Categoria de Risco são divididas em: avaliação das **Características Técnicas** (Tabela 12.1), incluindo parâmetros como altura, comprimento, vazão de projeto, método construtivo e auscultação; **Estado de Conservação** (Tabela 12.2), que incluem confiabilidade das estruturas extravasoras, percolação, deformações e recalques e deterioração dos taludes/paramentos; e do **Plano de Segurança da Barragem** (Tabela 12.3), que inclui documentação de projeto, estrutura organizacional e qualificação dos profissionais na equipe de segurança da barragem, manuais de procedimentos para inspeções de segurança e monitoramento, plano de ação emergencial (PAE) e relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de análise de segurança.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 130/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 12.1 – Matriz de Classificação quanto à Categoria de Risco – Características Técnicas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (CT)				
Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão de Projeto (c)	Método Construtivo (d)	Auscultação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamlenar (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)
15m ≤ Altura ≤ 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)	Alteamento a montante ou desconhecido ou que já tenha sido alteada a montante ao longo do ciclo de vida da estrutura (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)
Resultado da Avaliação: (Σ CT = 20)				

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 131/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 12.2 – Matriz de Classificação quanto à Categoria de Risco – Estado de Conservação.

Estado de Conservação (EC)			
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (f)	Percolação (g)	Deformações e Recalques (h)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (i)
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal / barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferrugem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)
Resultado da Avaliação: ($\sum EC = 5$)			

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 132/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Tabela 12.3 – Matriz de Classificação quanto à Categoria de Risco – Plano de Segurança da Barragem.

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

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 133/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

12.2 DANO POTENCIAL ASSOCIADO

A Tabela 12.4 apresenta a classificação da estrutura quanto ao seu **Dano Potencial Associado**, que está associado ao volume total do reservatório, à existência de população a jusante, ao impacto ambiental e ao impacto socioeconômico.

Tabela 12.4 –Classificação quanto ao Dano Potencial Associado.

Dano Potencial Associado (DPA)			
Volume Total do Reservatório	Existência de população a jusante	Impacto ambiental	Impacto socioeconômico
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes / residentes ou temporárias / transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	MÉDIO (existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (4)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A - Não Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	-
Resultado da Avaliação: (Σ DPA = 24)			

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 134/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

12.3 MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO

A Tabela 12.5 apresenta um resumo das pontuações obtidas nas matrizes de classificação e o resultado da classificação final da Barragem I.

Tabela 12.5 –Classificação de Risco e do Dano para a Barragem I.

1	Categoria de Risco	Pontos
1.1	Categorias Técnicas (CT)	20
1.2	Estado de Conservação (EC)	5
1.3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	2
Pontuação Total (CRI) = CT + EC + PS		27

Classificação de Risco		
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	Categoria de Risco	CRI
	Alto	≥ 65 ou $EC = 10^*$
	Médio	37 a 65
	Baixo	≤ 37

*Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservação (10) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

2	Dano Potencial Associado (DPA)	Pontos
2.1	Volume total do reservatório	3
2.2	Existência de População a Jusante	10
2.3	Impacto Ambiental	6
2.4	Impacto Socioeconômico	5
PONTUAÇÃO TOTAL (DPA)		24

Classificação do Dano		
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	Dano Potencial Associado	DPA
	Alto	≥ 13
	Médio	$13 > DPA > 7$
	Baixo	≤ 7

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 135/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

12.4 CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM

A Tabela 12.6 apresenta a classificação final da barragem, através de um cruzamento entre a Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado, enquadrando a Barragem I como **Classe B**, desde que mantidas as condições de contorno e de operação ora presentes.

Tabela 12.6 – Classificação da Barragem I, segundo Portaria DNPM nº 70.389/2017.

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

13 PAEBM

De acordo com os documentos disponibilizados pela VALE, observa-se que a Barragem I possui Plano de Ação de Emergência (PAEBM), elaborado pela empresa Walm e emitido em abril de 2018 (Doc. [190]), já atendendo a portaria 70.389 de maio 2017 que revogou as versões anteriores da Portaria DNPM 416/2012 e 526/2013.

O PAEBM analisado (Walm,2018) segue a estrutura estabelecida no Anexo II – Volume V da Portaria DNPM nº 70.389/2017. Na avaliação do PAEBM da Barragem I, verificou-se que o documento apresenta os seguintes itens:

1. Apresentação e Objetivo:

O PAEBM tem por objetivo identificar e classificar situações que possam pôr em risco a integridade da barragem, e, a partir deste ponto, estabelecer ações necessárias para sanar as situações de emergência e desencadear o fluxo de comunicações com os diversos agentes envolvidos com o **OBJETIVO DE MINIMIZAR RISCO DE PERDAS DE VIDAS HUMANAS**.

2. Identificação e contatos do PAEBM:

É apresentada a identificação da VALE como empreendedor e a listagem dos principais contatos envolvidos, atualizados em abril de 2018, quando do acionamento dos níveis de emergência estabelecidos no PAEBM, sendo listados os contatos emergenciais internos e externos.

3. Descrição geral da barragem:

São descritas as principais características da Barragem I e dos acessos à barragem.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 136/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

4. Detecção, avaliação e classificação das situações de emergência:

São apresentadas as possíveis situações de emergência a partir de anomalias identificadas na estrutura. Essa identificação acontece por meio das inspeções periódicas ou durante atividades de rotina e/ou análises do monitoramento da barragem.

As situações de emergência são classificadas em Níveis de Emergência (1, 2 ou 3), sendo função do Coordenador do PAEBM e da Equipe de técnica de segurança da barragem (geotecnia) avaliá-las e classifica-las.

5. Ações esperadas para cada nível de emergência:

Uma vez classificadas as situações de emergência, são estabelecidas as sequências de ações esperadas para cada um dos Níveis de Emergência. Os fluxos de ações esperadas por nível de emergência são apresentados em fluxogramas distintos (nível 1, 2 e 3) com identificação das ações a serem executadas por cada membro que compõe a equipe de segurança da barragem.

6. Procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situação de emergência:

Neste item são abordados os procedimentos preventivos, que tem por finalidade garantir a manutenção da estrutura a níveis aceitáveis de segurança. As atividades de cunho preventivo realizadas na barragem consistem em inspeções regulares de rotina, monitoramento da instrumentação e manutenção.

Na tentativa de mitigar riscos, quando detectada alguma anomalia, e responder com eficiência às situações de emergência que possam comprometer a segurança da barragem e de sua área de influência, são descritos os procedimentos corretivos a serem adotados. São apresentados no anexo 11.9 fichas detalhando cada uma das ações corretivas, organizadas por nível de emergência e por modo de falha.

7. Recursos materiais e logísticos disponíveis para uso em situação de emergência:

São apresentados os recursos disponíveis a serem utilizados em meio a uma situação de emergência e suas respectivas localizações e áreas responsáveis.

8. Procedimentos de notificação:

É apresentado um fluxograma de notificações associado a cada Nível de Emergência, facilitando o entendimento do processo de tomada de decisão em uma situação de emergência.

É previsto, nos fluxogramas de notificação dos Níveis de Emergência 2 e 3, o alerta da zona de autossalvamento (ZAS), sendo no nível 2 a previsão de alerta de forma antecipada. Diferentes meios de comunicação são citados no PAEBM, tais como: uso de acionamentos

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 137/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

sonoros, comunicação direta com deslocamento imediato a área e contatos para telefones cadastrados da comunidade e demais agentes públicos.

As delimitações da ZAS e da ZSS (zona de segurança secundária) são apresentadas nos mapas de inundação (anexo 11.13), assim como a indicação das sirenes instaladas ou em processo de instalação.

9. Responsabilidades durante a emergência:

Neste item estão descritas as atribuições da VALE, do coordenador do PAEBM, da Central de Controle de Emergência e Comunicação (CECOM), da equipe de segurança da barragem e da Defesa Civil.

10. Síntese do estudo de inundação:

É apresentado a síntese do estudo de cenários compreendendo os possíveis impactos resultantes da mancha de inundação hipotética da Barragem I. O mapa do PAEBM é elaborado com informações indispensáveis em situação de emergência, sejam elas: acessos, rotas de fuga, distância e tempo de chegada da onda de ruptura. Nesse item são listadas as principais interferências onde há potencial de perda de vidas humanas.

Por fim, são anexados ao PAEBM documentos que auxiliam a gestão do plano. Dentre eles, destacam-se:

- Relação das autoridades públicas que receberam a cópia do PAEBM;
- A relação de treinamentos com a equipe interna da VALE;
- As fichas de emergência com os procedimentos de mitigação, monitoramento e reparação que auxiliam na aplicação das medidas corretivas a serem implantadas de acordo com o nível de emergência da anomalia detectada;
- Mapas de inundação.

Por fim, o PAEBM disponibilizado atende aos requisitos impostos pela Portaria nº 70.389/2017 para estruturas classificadas como de Dano Potencial “Alto”.

14 CONSIDERAÇÕES FINAIS, RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

Este relatório apresentou a Revisão de Segurança da Barragem I, incluindo a consolidação geral dos estudos, projetos e documentos relevantes, os procedimentos de operação, a análise de desempenho da barragem, atualização da análise de estabilidade e da sua segurança hidráulica e a atualização da classificação de risco conforme a Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio de 2017.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 138/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

14.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

São a seguir apresentadas as considerações mais relevantes e as recomendações:

a) Documentação disponibilizada pela Vale

A Vale forneceu extensa documentação, relativas aos últimos alteamentos, conforme apresentado no Apêndice A. Para a barragem inicial e os 1º ao 6º alteamentos, foram disponibilizados apenas os projetos executivos, sendo apresentados desenhos “*As Built*” apenas para o 7º ao 10º alteamentos. Dessa maneira, o projeto “*As Is*” da Barragem I deverá ser elaborado até 16/06/2019, de acordo com o artigo 9º da Portaria DNPM nº. 70.389/2017, também com o intuito de preencher lacunas de informação.

b) Procedimentos de Monitoramento, Operação e Manutenção

O Manual de Operação se refere ao ano de 2016. Portanto, recomenda-se atualização, na qual sejam incorporadas as diretrizes de Operação, Monitoramento, Carta de Risco e Manutenção.

Recomenda-se autorizar acesso remoto dos dados de monitoramento para o autor da Revisão Periódica, durante a vigência legal da revisão.

c) Aderência entre projeto e construção

Do 7º ao 10º alteamento, para os quais foram disponibilizados desenhos “*As Built*”, observou-se aderência entre o projeto executivo e a obra executada.

d) Análise de Monitoramento

Em geral, os instrumentos para monitoramento piezométrico têm apresentado variações de nível pequenas, da ordem de 1 a 2 m, podendo alcançar em alguns casos variações de até 6 m.

Recomenda-se a instalação de novos piezômetros multi-níveis, com o intuito de confirmar a hipótese de existência de lençóis empoleirados no rejeito da barragem. Especialmente, estes novos piezômetros também têm o intuito de validar a extrapolação das camadas de empoleiramento e piezometria associada, realizada para a Seção 4-4 a partir das avaliações realizadas nas Seções 2-2 e 3-3.

Estes instrumentos devem ser programados em locais estratégicos (em lacunas, locais sem informação), instalados em cada camada de empoleiramento (multi-níveis).

Também é recomendada a realização de novos ensaios CPTu nos mesmos locais de instalação dos novos piezômetros, com a intenção de registrar a variação da piezometria continuamente com a profundidade, além de fornecer novos subsídios para obtenção de parâmetros geotécnicos. Recomenda-se realizar nestes locais, amostragem deformada contínua, para confirmar a classificação indireta interpretada a partir do CPTu.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 139/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Neste sentido, também se recomenda a complementação da caracterização física e geomecânica do rejeito, com novos ensaios de campo e laboratório cujos procedimentos de execução estejam de acordo com a metodologia proposta por Castro (1969) e Poulos *et al.* (1988). Dada a ocorrência de lentes de rejeito fino nas regiões de praia, é recomendável realização de ensaio de cisalhamento simples em amostras indeformadas e moldadas, à luz da experiência na Barragem do Fundão (Morgenstern *et al.*, 2016).

e) Inspeção de campo realizada pela TÜV-SÜD

De um modo geral, na inspeção de campo realizada em 03/08/2017, não foram observadas não-conformidades graves na barragem e no sistema extravasor.

Foram identificadas surgências d'água na face do talude de jusante da barragem e em áreas do aterro em contato com as ombreiras. Em alguns drenos de fundação foi observada a presença de material coloidal na água de infiltração. Em áreas localizadas existe processo erosivo no aterro e falha na proteção superficial do talude.

No sistema extravasor foi levantado ponto de atenção com relação a limpeza e manutenção do canal natural (não revestido) que conduz as águas vertidas para o reservatório da Barragem VI.

f) Análise de estabilidade

Foram realizadas análises de estabilidade sob as condições drenada (instabilização do talude de jusante) e não-drenada (liquefação do rejeito), para as Seções 2-2, 3-3 e 4-4. Concluiu-se que a Seção 4-4, de maior altura, é a mais crítica dentre as analisadas.

Por meio dos resultados dos ensaios CPTu, foram identificadas camadas de rejeito responsáveis pelo empoleiramento de lençóis freáticos. Foram impostos às análises de estabilidade diferentes níveis piezométricos, um para cada camada de rejeito, para definição das poropressões atuantes. Os níveis piezométricos foram interpretados a partir do monitoramento da barragem, por meio da instrumentação existente (indicadores de N.A. e piezômetros). Conforme já explicitado no item d, é recomendada a complementação dos instrumentos existentes e a realização de novos ensaios CPTu, para confirmação de hipóteses e suprir lacunas.

As análises de estabilidade sob a condição drenada resultaram em fatores de segurança $FS = 1,93$ (Seção 2-2), $FS = 1,76$ (Seção 3-3) e **$FS = 1,60$** (Seção 4-4), utilizando o método do Equilíbrio Limite, por meio do método de cálculo de Spencer. Esses valores atendem à norma NBR-13028 (2017), que preconiza fator de segurança mínimo superior a 1,50 para a condição de operação.

As análises de estabilidade sob a condição não-drenada resultaram em fatores de segurança $FS = 1,22$ (Seção 2-2), $FS = 1,18$ (Seção 3-3) e **$FS = 1,09$** (Seção 4-4), utilizando o método do Equilíbrio Limite, por meio do método de cálculo de Spencer. A norma NBR-13028 (2017) não preconiza um fator de segurança mínimo para o modo de falha liquefação. Entende-se,

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 140/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

entretanto, que para este fenômeno se desenvolver, se faz necessária a ocorrência de um gatilho, o qual pode ser compreendido como uma solicitação excepcional, de baixa probabilidade, sendo portanto satisfatório um fator de segurança superior ao unitário. Leshchinsky e Ambauen (2015) demonstraram a existência de um erro epistêmico ao método do Equilíbrio Limite, com o método de Spencer fornecendo valores de FS ora maiores ora menores que o valor exato, podendo ser adotado como fator de segurança mínimo o valor de 1,05 marginalmente superior ao unitário, cobrindo assim uma possível imprecisão do método de cálculo utilizado. Deste modo, os fatores de segurança obtidos são considerados satisfatórios, ao serem considerados **valores médios** para a razão de resistência não-drenada do rejeito saturado.

Cabe salientar que os parâmetros geotécnicos são variáveis, associados a distribuições de probabilidades de ocorrência. Esta variabilidade faz com que os resultados de cálculo (FS) também sejam variáveis, ou seja, que exista uma probabilidade de ruptura associada. Quanto maior a incerteza sobre os dados de entrada dos cálculos ou quanto maior a variabilidade natural dos parâmetros, maior será a probabilidade de ruptura, mesmo que as análises com parâmetros médios indiquem fatores de segurança satisfatórios. Para o caso da probabilidade de liquefação, esta deve ser ajustada reduzindo-se seu valor em função da probabilidade de ocorrência do gatilho da liquefação.

De modo a aumentar a segurança da barragem quanto ao modo de falha liquefação, recomenda-se a adoção de medidas que diminuam a probabilidade de ocorrência de gatilhos. Desta forma, deve-se 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 retirem material dos pés dos taludes ou obras que causem sobrecarga no reservatório ou na barragem. Recomenda-se também instalação de registro sismológico no entorno da barragem.

De acordo com a equipe da Vale, já estão sendo implementadas medidas com o objetivo de incrementar a segurança da barragem, apresentadas no Apêndice F e detalhadas no item 14.2 (Conclusões).

g) Avaliação da segurança hidráulica

Conforme os estudos acima apresentados, ao transitar uma Cheia Máxima Provável pelo reservatório da Barragem I, a borda livre resultante é de 4,65 m e a vazão defluente decorrente desta cheia não provoca o transbordamento do sistema extravasor, além de seu comportamento hidráulico se apresentar adequado ao longo de todos os trechos simulados. Desta forma, o sistema extravasor se encontra aderente à NBR-13028 (2017) para a situação de operação.

14.2 CONCLUSÕES

As avaliações acima citadas demonstraram que o desempenho da barragem se encontra adequado, atendendo às exigências das normas brasileiras que prescrevem as condições mínimas de segurança das barragens de rejeito.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 141/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

O fator de segurança relativo à estabilidade do talude de jusante é satisfatório ($FS > 1,50$) e a avaliação de segurança da estrutura extravasora concluiu que o sistema extravasor é adequado, ambos atendendo a norma NBR 13028 (2017) para a situação de operação da barragem.

Com relação ao modo de falha liquefação, a metodologia empregada pode ser considerada como o estado atual da prática, sendo a mais aceita na comunidade técnica mundial. Entretanto, ainda são necessários desenvolvimentos, uma vez que análises de Equilíbrio Limite não consideram o comportamento tensão-deformação do rejeito e é este que controla o fenômeno físico de liquefação. Por outro lado, a metodologia é semi-empírica, ou seja, baseada em casos reais que a validaram, possivelmente com alguma segurança, desconhecida.

Nesta linha, é necessária aprimorar a determinação da resistência não-drenada (fortemente dependente do tipo de ensaio e do estado do solo *in-situ*, o qual é difícil de ser determinado) e também quanto ao modo como deveria ser conduzida a avaliação da estabilidade (são necessárias análises em termos de tensões efetivas considerando o real comportamento tensão-deformação do solo com amolecimento pós-pico de resistência, acopladas à teoria do adensamento para previsão da dissipação do excesso de poropressões).

Positivamente, a paralização da disposição de rejeitos na barragem em 2016 e a manutenção do nível do reservatório por meio de bombeamento d'água desde 2017, têm refletido na queda dos níveis piezométricos atuantes na barragem, conforme observado pelo histórico de monitoramento. Além destas duas ações, outras medidas estão sendo implementadas de forma a aumentar a segurança da barragem, conforme apresentado no Apêndice F:

- Desvio do aporte d'água no reservatório

A contribuição d'água afluyente, localizada a nordeste do reservatório, apresenta vazão com ordem de grandeza de $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Atualmente, está sendo executado o desvio desta contribuição diretamente para a torre do sistema extravasor da barragem, de forma a reduzir a vazão que percola pelo rejeito e deplecionando o lençol freático (Doc. [191]).

- Deplecionamento do lençol freático

Complementarmente à medida anterior e de maneira mais direta, estão sendo executados drenos horizontais profundos (DHPs), com comprimentos de 100 m, inicialmente uma primeira linha na berma de recuo da El. 899 m e posteriormente uma segunda linha no pé da barragem.

Esta operação é delicada, pelos riscos de perda de solo durante a perfuração e de indução de cisalhamento excessivo do rejeito *in-situ*. A Vale salienta que tem feito o acompanhamento contínuo e cuidadoso da operação de perfuração e instalação dos tubos, e realiza acompanhamento de deformações por meio de radar interferométrico, a seguir descrito.

Está prevista também a execução de poços de rebaixamento, no caso de constatação de ineficiência dos DHPs. O deplecionamento do lençol freático visa promover um

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 142/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

incremento na segurança da estrutura ao serem reduzidas as poropressões atuantes (Docs. [192], [193] e [194]).

- Monitoramento de deslocamentos por radar

Um radar interferométrico terrestre foi instalado no início de maio de 2018, em local indeslocável próximo à Barragem I. Este equipamento obtém informações sobre deslocamentos da superfície analisada, em intervalos de 3 minutos. Deste modo, aumenta-se a segurança e reduz-se riscos quando há controle de movimentação do maciço (Doc. [195]).

- Remineração do rejeito

Por fim, como solução definitiva, a Vale optou por reminerar o rejeito disposto na Barragem I, promovendo sua completa remoção. A licença ambiental já está em trâmite na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais. Esta solução, contudo, refletirá em um incremento de segurança somente a médio-longo prazo (Docs. [196] e [197]).

A Barragem I está classificada como Categoria de Risco **BAIXA** e Dano Potencial Associado **ALTO**, o que resulta na classificação **Classe B**, segundo Portaria DNPM nº70.389/2017.

15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bureau of Reclamation (1987). Design of Small Dams. 3º Edition, United States Department of the Interior, Water Resources Technical Publication.
- Chow, V.; Maidment, D. and Mays, L. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill, 572 p., New York.
- Castro, G. (1969). Liquefaction of sands. PhD Thesis – Harvard Soil Mechanics Series n.81, Cambridge, MA.
- Cruz, P. T. (1996). 100 Barragens Brasileiras. Oficina de Textos, 647 p., São Paulo.
- Jamiolkowski, M.; Ladd, C.C.; Germaine, J.T. e Lancellotta, R. (1985). New developments in field and laboratory testing of soils. 11th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., San Francisco, (1) pp.57-153.
- Leshchinsky, B. and Ambauen, S. (2015). Limit Equilibrium and Limit Analysis: comparison of benchmark slope stability problems. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE.
- Morgenstern, N. R. *et al.* (2016). Relatório sobre as Causas Imediatas da Ruptura da Barragem de Fundão, disponível em www.fundaoinvestigation.com, acessado 01/11/17

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CÓRREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 143/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

NRCS (2004). Hydrology, National Engineering Handbook – Part 630, Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington.

Olson, S.M. (2001). Liquefaction analysis of level and sloping ground using field case histories and penetration resistance. PhD Thesis – University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana.

Olson, S.M. (2016, em revisão) Liquefaction Analysis of Tailings Facilities, Minicurso 1, Cobramseg 2016, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Olson, S.M. and Stark, T.D. (2003). "Yield strength ratio and liquefaction analysis of slopes and embankments". ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 129(8), 727-737.

Pinheiro, M. (2011). Diretrizes para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos Hidráulicos em Obras de Mineração. 1ª Edição. ABRH, Porto Alegre, 2011.

Porto, R. (2006). Hidráulica Básica. 4ª Edição, Escola de Engenharia de São Carlos/USP.

Poulos, S.J.; Castro, G. and France, J.W. (1988). Liquefaction evaluation procedure. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE: v.114, n.2, pp.251-259.

Robertson, P.K. (2009). Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 46, pp.1337-1355.

Robertson, P.K. (2010a). Soil behaviour type from the CPT: an update. 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10, USA.

Robertson, P.K. (2010b). Estimating in-situ state parameter and friction angle in sandy soils from the CPT. 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10, USA.

Robertson, P.K. (2012). The James K. Mitchell Lecture: Interpretation of in-situ tests: some insights. Proceedings of the 4th Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Pernambuco. London: Taylor & Francis Group, v.1, pp.3-24.

Robertson, P.K. e Campanella, R.G. (1983). Interpretation of cone penetrometer test, Part I: Sand. In: Canadian Geotechnical Journal, 20(4), pp.718-733.

Robertson, P.K. e Cabal, K.L. (2010). Estimating soil unit weight from CPT. 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10, USA.

Suphunvorranop, T. (1985). A Guide to SCS Runoff Procedures. Technical Publication Nº 85-5. Department of Water Resources St. Johns River Water Management District, Florida.

Taguchi, G (2014). Fault Tree Analysis of Slurry and Dewatered Tailings Management – A Frame Work. Dissertação de Mestrado, University of British Columbia, Canadá, 89 p.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA Córrego Feijão – Barragem I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 144/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

16 ASSINATURA DO RESPONSÁVEL PELA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA

A identificação dos componentes-chave da equipe técnica responsável pela elaboração da presente Revisão Periódica de Segurança de Barragem I está apresentada na Tabela 16.1 com a assinatura do engenheiro geotécnico responsável em seguida.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS**REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA Córrego Feijão – Barragem I
RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº VALE

-

PÁGINA

145/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4**Tabela 16.1 – Equipe Tuv-Süd responsável pela RPSB.**

Nome	Empresa	Cargo	Responsabilidades	CREA	E-mail	Telefone	Celular
Arsenio Negro Jr	TÜV SÜD Bureau	Consultor em Geotecnia	Consultoria Técnica	0600485128/SP	arsenio.negro@tuv-sud.com.br	11-3817-0200	11-99243-7299
Andre Jum Yassuda	TÜV SÜD Bureau	Consultor em Geotecnia	Declaração de Estabilidade	0600716385/SP-MG	andre.yassuda@tuv-sud.com.br	11-3817-0200	11-97151-5123
Makoto Namba	TÜV SÜD Bureau	Coordenador de Projetos	Coordenação	0601080777/SP	makoto.namba@tuv-sud.com.br	11-3817-0226	11-99264-9261
Marlísio O. Cecílio Jr	TÜV SÜD Bureau	Engenheiro Geotécnico Senior	Supervisão Técnica	2506115595/SP	marlisio.cecilio@tuv-sud.com.br	11-3817-0218	11-98105-2831
Ana Paula Toledo Ruiz	TÜV SÜD Bureau	Engenheiro Geotécnico Master	Elaboração Geotecnia	5060495704/SP	apt.ruiz@gmail.com	11-3817-0226	11-98771-9306
Sidnei Ono	TÜV SÜD Bureau	Engenheiro Hidráulico Senior	Elaboração Recursos Hídricos	5062132798/SP	sidnei.ono@gmail.com	11-3817-0244	11-98919-4137

Nome do Responsável Técnico	CREA	Assinatura do Responsável Técnico
Andre Jum Yassuda	0600716385/SP-MG	



	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 146/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

APÊNDICE A
LISTA DE DOCUMENTOS

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 147/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Projeto Conceitual

- [1] VL28-RT-01 – Premissas e concepção preliminar dos alteamentos – Elaborado pela Geoconsultoria, Setembro/2005.
- [2] VL28-RT-02 – Estudo conceitual de disposição de rejeitos na Barragem 1, até sua configuração final – Elaborado pela Geoconsultoria, Agosto/2006.
- [3] RL-1860JJ-X-30402 – Projeto Conceitual de Recuperação de Finos, Relatório Técnico – Elaborado pela VOGBR, Dezembro/2011.
- [4] VG11-044-1-GT-ETC-0004 – Especificação Técnica – Instalação de Medidores de Nível De Água (MNA). Elaborado pela VOGBR, Setembro/2011.
- [5] VG11-044-1-GT-ETC-0005 – Especificação Técnica – Coleta de Amostras Shelby. Elaborado pela VOGBR, Setembro/2011.
- [6] VG11-044-1-GT-ETC-0006 – Especificação Técnica – Ensaio de Laboratório. Elaborado pela VOGBR, Setembro/2011.
- [7] VG11-044-1-EG-ETC-0004 – Especificação Técnica – Ensaio de Infiltração. Elaborado pela VOGBR, Setembro/2011.
- [8] VG11-044-1-EG-ETC-0005 – Especificação Técnica – Investigações Geológico-Geotécnicas. Elaborado pela VOGBR, Setembro/2011.
- [9] VG11-044-1-EG-ETC-0008 – Especificação Técnica – Levantamento Topográfico. Elaborado pela VOGBR, Setembro/2011.
- [10] VG11-044-1-GL-ETC-0003 – Especificação Técnica – Sondagem à Percussão. Elaborado pela VOGBR, Setembro/2011.
- [11] RL-1860JJ-X-30404 – Projeto Conceitual de Recuperação de Finos, Relatório de Visita Técnica. Elaborado pela VOGBR, Dezembro/2012.
- [12] VG11-044-1-GT-PLA-0005 – Planilha de Quantidades; Elaborado pela VOGBR, Novembro/2011.
- [13] Projeto Conceitual de Recuperação de Finos - 46 Desenhos – Elaborados pela VOGBR.

Projeto Básico

- [14] VALE-RE-LV-BRI-001 – Plano de Recuperação de Rejeitos Barragem I – Elaborado pela VALE, Maio/2010.
- [15] VALE-DE-LV-BR1-001 – Sequenciamento de Lavra, Situação Atual, Planta – Elaborado pela VALE.
- [16] VALE-DE-LV-BR1-002 – Sequenciamento de Lavra, 1 e 2º Fase, Planta – Elaborado pela VALE.
- [17] VALE-DE-LV-BR1-003 – Plano de Recuperação de Rejeitos, Sequenciamento de Lavra, Seções A-A e B-B – Elaborado pela VALE.
- [18] VALE-DE-LV-BR1-004 – Instrumentação e Investigações Realizadas, Situação Atual, Planta – Elaborado pela VALE.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 148/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Projeto Executivo – Maciço Inicial

- [19] 02-RELA0073-01-00 - Projeto do Maciço Inicial - Relatório Técnico. Elaborado por CHRISTOPH ERB, Agosto/1975. (Documento escrito em alemão)
- [20] 023/76 – Maciço Inicial - Apresentação dos Resultados. Elaborado por ENGESOLO, Fevereiro/1976.
- [21] Maciço Inicial - Ocorrências de Obra. Elaboradas por ENGESOLO, 1976.

Projeto Executivo – 1º e 2º Alteamento

- [22] 1039/80 – Alteamentos da Barragem do Córrego do Feijão. Elaborado por TECNOSAN, 1980.
- [23] 1039/80 – Alteamentos da Barragem do Córrego do Feijão - Especificações Construtivas. Elaborado por TECNOSAN, 1980.
- [24] Ensaios Geotécnicos para o projeto da Barragem do Feijão. Elaborado por TECNOSAN, 1981.
- [25] 4010/83 – Novos Alteamentos da Barragem do Córrego do Feijão, Relatório do Projeto, Verificação de Estabilidade. Elaborado por TECNOSAN, Agosto/1983.
- [26] 4014/83 – Novos Alteamentos da Barragem do Córrego do Feijão, Relatório do Projeto. Elaborado por TECNOSAN, Dezembro/1983.
- [27] Ensaios Geotécnicos do Rejeito para o Projeto da Barragem do Feijão. Elaborado por TECNOSAN, 1981.

Projeto Executivo – 4º Alteamento

- [28] RE 2061/95 – Volume I – 4º Alteamento - Relatório do Projeto. Elaborado pela TECNOSOLO, 1995. TECNOSANRE 2061/95 – Volume II – 4º Alteamento - Desenhos do Projeto. Elaborado pela TECNOSOLO, 1995.
- [29] RE 2061/95 – Volume III – 4º Alteamento - Especificações Técnicas e Planilhas de Quantidades Estimadas. Elaborado pela TECNOSOLO, 1995.
- [30] RE 2061/95 – Volume IV – 4º Alteamento - Orçamento Estimativo e Cronograma das Obras. Elaborado pela TECNOSOLO, 1995.

Projeto Executivo – 5º Alteamento

- [31] RE 2095/98 – Volume I – 5º Alteamento - Barragem I - Relatório Final do Projeto. Elaborado pela TECNOSOLO, 1998.
- [32] RE 2095/98 – Volume I – 5º Alteamento - Barragem I - Desenhos do Projeto. Elaborado pela TECNOSOLO, 1998.
- [33] RE 2095/98 – Volume II – – 5º Alteamento - Barragem I - Análises de Estabilidade e Estudos Hidrológicos e Hidráulicos. Elaborado pela TECNOSOLO, 1998.
- [34] C.086/98 – – 5º Alteamento - Barragem I - Plano de Monitoramento Piezométrico. Elaborado pela TECNOSOLO, 1998.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 149/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Projeto Executivo – 6º Alteamento

- [35] RE 2129/00 – Volume I – 6º Alteamento - Barragem I – Relatório Final do Projeto. Elaborado pela TECNOSOLO, 2000.
- [36] RE 2129/00 – Volume I – 6º Alteamento - Barragem I - Desenhos do Projeto. Elaborado pela TECNOSOLO, 2000.
- [37] RE 2129/00 – Volume II – 6º Alteamento - Barragem I - Análises de Estabilidade e Estudos Hidrológicos e Hidráulicos. Elaborado pela TECNOSOLO, 2000.
- [38] RE 2129/00 – Volume III – 6º Alteamento - Barragem I - Orçamento Estimativo das Obras. Elaborado pela TECNOSOLO, 2000.

Projeto Executivo – 7º Alteamento

- [39] RE 2152/01 – 7º Alteamento - Barragem I - Relatório dos Estudos de Estabilidade. Elaborado pela TECNOSOLO, 2001.
- [40] RE 2151/01 – 7º Alteamento - Barragem I - Relatório dos Estudos Hidrológicos e Hidráulicos. Elaborado pela TECNOSOLO, 2001
- [41] RE 2154/01 – 7º Alteamento - Barragem I - Orçamento Estimativo das obras. Elaborado pela TECNOSOLO, 2001

Projeto Executivo – 8º Alteamento

- [42] RE 2182/03 – 8º Alteamento - Barragem I - Relatório do Projeto Executivo – Volume I. Elaborado pela TECNOSOLO, Dezembro/2003.
- [43] RE 2182/03– 8º Alteamento - Barragem I - Desenhos do Projeto Executivo – Volume II. Elaborado pela TECNOSOLO, 2003.
- [44] Re 2186/03 – 8º Alteamento - Barragem I - Análises de Estabilidade do Projeto Executivo. Elaborado pela TECNOSOLO, Dezembro/2003.
- [45] RE 2184/03 – 8º Alteamento - Barragem I - Relatório dos Estudos Geotécnicos do Projeto Executivo. Elaborado pela TECNOSOLO, Dezembro/2003.
- [46] RE 2185/03 – 8º Alteamento - Barragem I - Projeto das Estradas de Acessos às Margens do Reservatório. Elaborado pela TECNOSOLO, Dezembro/2003.
- [47] RE 2185/03 – 8º Alteamento - Barragem I - Desenhos do Projeto das Estradas de Acessos às Margens do Reservatório. Elaborado pela TECNOSOLO o, Dezembro/2003.
- [48] RE 2178/03 – 8º Alteamento - Barragem I - Plano de Contingência. Elaborado pela TECNOSOLO, Agosto/2003.
- [49] RE 674/03 – 8º Alteamento - Barragem I - Sondagem de Reconhecimento. Elaborado pela TECNOSOLO, Maio/2003.
- [50] Planilha de Quantidades Estimadas - 8º Alteamento - Barragem I. Elaborado pela TECNOSOLO, dezembro/2003.
- [51] 247-643-R1.dwg – 8º Alteamento - Barragem I – Vertedouro: Estrutura de Entrada e Canal 1, Planta e Seções. Elaborado pela TECNOSOLO, Dezembro/2003.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 150/265
		Nº TUV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- [52] 247-644-R1.dwg – 8º Alteamento - Barragem I – Vertedouro: Caixa de Passagem, Canal 2 e Bacia de Dissipação, Planta e Seções. Elaborado pela TECNOSOLO, Dezembro/2003.
- [53] 247-649-R1.dwg – 8º Alteamento - Barragem I – Vertedouro: Estrutura de Entrada e Canal 1 – Forma, Planta, Vista e Seções. Elaborado pela TECNOSOLO, Dezembro/2003.
- [54] 247-650-R1.dwg – 8º Alteamento - Barragem I – Caixa de Passagem, Canal 2 e Bacia de Dissipação – Forma, Planta e Seções. Elaborado pela TECNOSOLO, Dezembro/2003.

Projeto Executivo – 9º e 10º Alteamento

- [55] VL28-RT-03-R0 – Barragem I – Alteamentos até as cotas 937 e 942m – Projeto Executivo – Relatório Técnico. Elaborado pela Geoconsultoria, Dezembro/2006.
- [56] Desenhos do Projeto Executivo do Alteamento até as cotas 937 e 942m. Elaborado pela Geoconsultoria, 2006.
- [57] VL28-ES-01 – Barragem I – Alteamentos da Barragem cota 937m. Especificação Construtiva. Elaborada pela Geoconsultoria, Junho/2006.
- [58] VL28-ES-02 – Barragem I – Alteamentos da Barragem cota 942m. Especificação Construtiva. Elaborada pela Geoconsultoria, Junho/2006.
- [59] VL28-PQ-01 – Planilha de Quantidades – 9º Alteamento para cota 937m. Elaborado pela Geoconsultoria, Dezembro/2006.
- [60] VL28-PQ-02 – Planilha de Quantidades – 10º Alteamento para cota 942m. Elaborado pela Geoconsultoria, Dezembro/2006.
- [61] VL28-PI-01 – Programa de Investigação de Campo. Elaborado pela Geoconsultoria, Setembro/2005.
- [62] VL28-PI-02 – Programa de Ensaios de Laboratório. Elaborado pela Geoconsultoria, Dezembro/2005.
- [63] VL28-PI-04 – Programa de Ensaios de Laboratório. Elaborado pela Geoconsultoria, Abril/2006.
- [64] VL28-PI-05 – Programa complementar de Investigação de Campo. Elaborado pela Geoconsultoria, Setembro/2006.
- [65] VL28-PI-06 – Programa de Ensaios de Laboratório – Investigações Complementares. Elaborado pela Geoconsultoria, Novembro/2006.
- [66] VL28-DE-109.dwg – Mina Córrego do Feijão – Barragem 1 – 9º Alteamento El. 937,00 – Implantação Galeria, Planta. Elaborado pela Geoconsultoria, Maio/2007.
- [67] VL28-DE-110.dwg – Mina Córrego do Feijão – Barragem 1 – 9º Alteamento El. 937,00 – Implantação Galeria, Escavação Seção A e Detalhes. Elaborado pela Geoconsultoria, Maio/2007.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 151/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- [68] VL28-DE-111.dwg – Mina Córrego do Feijão – Barragem 1 – 9º Alteamento El. 937,00 – Implantação Galeria, Seções. Elaborado pela Geoconsultoria, Maio/2007.
- [69] VL28-DE-112.dwg – Mina Córrego do Feijão – Barragem 1 – 9º Alteamento El. 937,00 – Drenagem Superficial, Planta. Elaborado pela Geoconsultoria, Maio/2007.
- [70] VL28-DE-113.dwg – Mina Córrego do Feijão – Barragem 1 – 9º Alteamento El. 937,00 – Drenagem Superficial, Seções, Formas e Armadura. Elaborado pela Geoconsultoria, Maio/2007.
- [71] VL28-DE-201.dwg – Mina Córrego do Feijão – Barragem 1 – 10º Alteamento El. 942,0 – Implantação Barragem, Planta. Elaborado pela Geoconsultoria, Dezembro/2006.

Avaliação de Segurança

- [72] VL28-RT-04 – Níveis de Segurança da Instrumentação – Cota 937 m – Elaborado pela Geoconsultoria, Outubro/2010.
- [73] VL28-RT-05 – Avaliação da Piezometria – Relatório Técnico – Elaborado pela Geoconsultoria, Abril/2007.
- [74] VL28-RT-07 – Avaliação de Segurança – Relatório Técnico – Elaborado pela Geoconsultoria, Maio/2007.
- [75] VL28-RT-09 – Avaliação do potencial de Liquefação – Elaborado pela Geoconsultoria, Abril/2008.
- [76] VL28-RT-10 – Estabilidade dos taludes de encosta junto às torres – Relatório Técnico – Elaborado pela Geoconsultoria, Abril/2008.
- [77] VALE.AL-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. Elaborado por Tractebel, Setembro/2017.
- [78] VL47-RT-04 – Estudos de liquefação – Análises de Estabilidade – Elaborado pela Geoconsultoria, Julho/2016.
- [79] VL47-RT-08 – Estudos de Liquefação – Ensaios de Laboratório – Relatório Técnico – Elaborado pela Geoconsultoria, Dezembro/2016.
- [80] VL47-MC01-R0 – Estudo de Liquefação estática – Barragem B1 – Córrego do Feijão – Análise de Estabilidade – Elaborado pela Geoconsultoria, Julho/2016.
- [81] VL55-RT-05-R0 – Relatório de Inspeção Regular – Relatório Técnico da Auditoria Extraordinária - Barragem B1 – Córrego do Feijão – Elaborado pela Geoconsultoria, Agosto/2016.
- [82] 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. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Revisão 1. Agosto/2015.
- [83] RD-375-RL-37368-00 – Relatório de Inspeção de Segurança Regular / 2014 - Laudo Técnico De Segurança De Barragem / 2014. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2014.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 152/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- [84] RD-578-RL-32822-00 – Relatório de Inspeção de Segurança Regular / 2013 - Laudo Técnico De Segurança De Barragem / 2013. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2013.
- [85] RD-538-LT-27664-00 – Laudo Técnico De Segurança De Barragem / 2012. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Julho/2012.
- [86] RD-486-LT-23976-00 – Laudo Técnico De Segurança De Barragem / 2011. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2011.
- [87] RD-486-RL-24670-00 – Relatório Técnico De Auditoria Das Barragens E Diques /2011. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2011.
- [88] RD-490-LT-21651-00 – Laudo Técnico De Segurança De Barragem / 2010. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2010.
- [89] RD-480-LT-18734-00 – Laudo Técnico De Segurança De Barragem / 2009. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2009.
- [90] RD-425-LT-13515-00 – Laudo Técnico De Segurança De Barragem / 2008. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2008.
- [91] RD-584-RL-11236 – Laudo Técnico De Segurança De Barragem / 2007. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2007.
- [92] RD-580-RL-11162 – Auditoria De Barragens Classe III DN COPAM 62. Laudos Técnicos De Segurança / 2007. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Outubro/2007.
- [93] RD-570-RL-8918-00 – Laudo Técnico de Segurança de Barragem / 2006. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Fevereiro/2006.
- [94] RD-501-RL-7305-01 – Auditoria Técnica de Segurança das Barragens e Pilhas de Estéril, Minas de Fábrica e Córrego do Feijão - Fase II. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2005.
- [95] RD-105-RL-3703-01 – Auditoria Técnica De Segurança Das Barragens e Pilhas De Estéril Volume I/III. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Julho/2003.

Declaração de Condição de Estabilidade

- [96] RD-425-DL-15739-00 – Declaração de Condição de Estabilidade / 2008. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2008.
- [97] RD-480-DL-18760-00 – Declaração de Condição de Estabilidade / 2009. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2009.
- [98] RD-490-DL-21697-00 – Declaração de Condição de Estabilidade / 2010. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2010
- [99] RD-486-DL-23987-00 – Declaração de Condição de Estabilidade / 2011. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2011.
- [100] RD-538-DL-27677-00 – Declaração de Condição de Estabilidade / 2012. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2012.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 153/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

[101] RD-578-DL-32832-00 – Declaração de Condição de Estabilidade / 2013. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2013.

[102] RD-375-DL-37382-00 – Declaração de Condição de Estabilidade / 2014. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2014.

[103] RD-639-DL-40144-00 – Declaração de Condição de Estabilidade / 2015. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Agosto/2015.

[104] VL55-LA-05 Declaração de Condição de Estabilidade. Elaborado pela Geoconsultoria, Setembro/2016.

Planilha de Recomendações

[105] RD-584-PL-11171-00 – Planilha de Recomendações. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2007.

[106] RD-425-PL-13465-02 – Planilha de Recomendações. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2008.

[107] RD-480-PL-19038-00 – Planilha de Recomendações. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2009.

[108] RD-490-PL-21611-00 – Planilha de Recomendações. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2010.

[109] RD-486-PL-25393-00 – Planilha de Recomendações. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2011.

[110] RD-538-PL-27655-00 – Planilha de Recomendações. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2012.

[111] RD-578-PL-32812-00 – Planilha de Recomendações. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2013.

[112] RD-639-PL-40058-00 – Planilha de Recomendações. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, Setembro/2015.

Como Construído

[113] 246-219 a 224 – Desenhos do As Built referente ao 7º alteamento. Elaborados pela Tecnosolo, Novembro/2001.

[114] Desenhos referentes ao As Built do 8º alteamento. Elaborado pela Tecnosolo, Dezembro/2003.

[115] Desenhos referentes ao As Built do 9º alteamento. Sem carimbo de identificação.

[116] Desenhos referentes ao As Built do 10º alteamento. Elaborado por Salum Construções, Maio/2013.

Acompanhamento Técnico de Obra (ATO)

[117] VL42-RV-01 – Acompanhamento Técnico da Obra. Elaborado pela Geoconsultoria, Dezembro/2012.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 154/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

[118] VL42-RV-03 – Acompanhamento Técnico da Obra. Elaborado pela Geoconsultoria, Fevereiro/2013.

[119] VL42-RV-04 – Acompanhamento Técnico da Obra. Elaborado pela Geoconsultoria, Abril/2013.

[120] Atas de reunião referentes ao 7º alteamento. Elaborados pela FERTECO, 2002.

[121] 02-RELA-0074-07-00 – Controle de medição referente ao 2º alteamento.

[122] 173/83 – Relatório com os resultados de sondagem. Elaborado pela Pavisolos & Sondag, novembro/1983.

[123] 175/83 – Relatório com os resultados de campo e laboratório. Elaborado pela Pavisolos & Sondag, novembro/1983.

[124] RA-FBH-3.30549/83 – 2º Alteamento da Barragem do Córrego do Feijão – Controle de Compactação, Relatório Único. Elaborado pela Geotécnica, Agosto/1983.

[125] AT-0549/83 – Anexo do controle de compactação do 2º alteamento da Barragem do Córrego do Feijão – Empolamento. Elaborado pela Geotécnica, Agosto/1983.

[126] A1-AT-13.0062/82 – 1º Alteamento da Barragem do Córrego do Feijão – Controle de Compactação, 1º Relatório. Elaborado pela Geotécnica, Agosto/1982.

[127] A2-AT-13.0062/82 – 1º Alteamento da Barragem do Córrego do Feijão – Controle de Compactação, 2º Relatório. Elaborado pela Geotécnica, Agosto/1982.

Dados de Monitoramento e Instrumentação

[128] Relatório de instrumentação – GEOTEC III – Solução de Gerenciamento de Geotecnia e Hidrogeologia. Fornecido pela VALE, 2017.

Análise de Risco

[129] RD-654-RL-41070-00 – Análise da probabilidade de ruptura - Barragem I – Relatório Técnico e Apêndices – Elaborado pela Pimenta de Ávila, dezembro/2015.

[130] RD-652-RL-42067-00 – Relatório Técnico, Estudo de Cenários (Dam Break) da Barragem I – Elaborado pela Pimenta de Ávila, dezembro/2015.

[131] RD-656-RL-41729-00 – Relatório Técnico, Análise de Risco da Barragem I. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.

[132] RD-655-RL-41648-00 – Consequências à imagem da empresa - Barragem I. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.

[133] RD-655-RL-41647-00 – Órgãos Reguladores e Meio Ambiente - Barragem I - Mina Córrego do Feijão. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.

[134] RD-655-RL-41646-00 – Consequências à Saúde e Segurança e Sociais - Barragem I. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.

[135] RD-655-RL-41645-00 – Consequências Econômicas - Barragem I. Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 155/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

- [136] RD-655-MP-41696-00 – Mapa de Interferência Socioambiental: Recursos Hídricos (Mapa 1). Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.
- [137] RD-655-MP-41696-00 – Mapa de Interferência Socioambiental: Cobertura Vegetal (Mapa 2). Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.
- [138] RD-655-MP-41697-00 – Mapa de Interferência Socioambiental: Unidades de Conservação (Mapa 3). Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.
- [139] RD-655-MP-41698-00 – Mapa de Interferência Socioambiental: Vulnerabilidade Natural (Mapa 4). Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.
- [140] RD-655-MP-41699-00 – Mapa de Interferência Socioambiental: Uso e Infraestrutura (Mapa 5). Elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2015.
- [141] RD-425-PL-13390-00 – FMEA - Barragem I. Elaborado por Pimenta de Ávila Consultoria, Julho/2008.
- [142] RD-538-PL-27654-01 – FMEA - Barragem I. Elaborado por Pimenta de Ávila Consultoria, dezembro/2012.

Estudo de Ruptura e Plano de Ação Emergencial

- [143] WBH52-14-VALE-RTE-0014-R0 – Estudo de Ruptura da Barragem I incluindo apêndice I. Elaborado pela WALM Engenharia, Agosto/2015.
- [144] WBH52-14-VALE-RTE-0013-R3 – Plano de Ação de Emergência (PAEBM) – Barragem I. Elaborado pela WALM Engenharia, Junho/2016.

Fotos Aéreas

- [145] 062714_2254.jpg: Fotografia Aérea. Elaborado pela Vale, Junho/2014.
- [146] 080615_7032.jpg: Fotografia Aérea. Elaborado pela Vale, Agosto/2015.
- [147] 081016_0100.jpg: Fotografia Aérea. Elaborado pela Vale, Agosto /2016.

Ortofoto

- [148] 2016_ortofoto_preliminar8760.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 8760. Elaborado pela Vale.
- [149] 2016_ortofoto_preliminar8761.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 8761. Elaborado pela Vale.
- [150] 2016_ortofoto_preliminar8918.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 8918. Elaborado pela Vale.
- [151] 2016_ortofoto_preliminar8919.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 8919. Elaborado pela Vale.
- [152] 2016_ortofoto_preliminar9076.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 9076. Elaborado pela Vale.
- [153] 2016_ortofoto_preliminar9077.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 9077. Elaborado pela Vale.
- [154] 2016_ortofoto_preliminar8920.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 8920. Elaborado pela Vale.
- [155] 2016_ortofoto_preliminar9078.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 9078. Elaborado pela Vale.
- [156] 2016_ortofoto_preliminar8762.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 8762. Elaborado pela Vale.
- [157] 2016_ortofoto_preliminar8763.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 8763. Elaborado pela Vale.
- [158] 2016_ortofoto_preliminar8921.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 8921. Elaborado pela Vale.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 156/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

[159] 2016_ortofoto_preliminar9079.tif: Foto Aérea Nº do Arquivo 9079. Elaborado pela Vale.
Topobatimetria

[160] Levantamento Topobatimétrico. Elaborado por CHC, Outubro/2003.

[161] Levantamento Topobatimétrico. Elaborado em Abril/2004.

[162] Levantamento Topobatimétrico. Elaborado em Maio/2005.

[163] Levantamento Topobatimétrico. Elaborado por UMISAN Hidrografia e Engenharia, Janeiro/2007 (referente ao ano de 2006).

[164] Levantamento Topobatimétrico. Elaborado por UMISAN Hidrografia e Engenharia, Maio/2012.

[165] Levantamento Topobatimétrico. Elaborado por CP+, Setembro/2013.

[166] Levantamento Topobatimétrico. Elaborado por CP+, agosto a dezembro/2015.

[167] Levantamento Topobatimétrico. Elaborado por CP+, Janeiro/2016.

Plano de Segurança

[168] PSB_I_06042017.pdf: Plano de Segurança da Barragem – Volume I - Barragem I – Informações Gerais. Elaborado pela Vale, abril/2017

Manual de Operação

[169] VL28-MO-01 – Manual de Operação da Barragem – Relatório Técnico – Elaborado pela Geoconsultoria, Agosto/2007.

[170] VL28-MO-01-R3 – Manual de Operação da Barragem – Relatório Técnico – Elaborado pela Geoconsultoria, Julho/2013.

[171] VL47-RT-03-R1 – Manual de Operação da Barragem – Relatório Técnico – Elaborado pela Geoconsultoria, Abril/2016.

Níveis de Segurança da Instrumentação

[172] VL28-RT-04-R2 – Níveis de Segurança da Instrumentação – Cota 937m – Elaborado pela Geoconsultoria, Outubro/2007.

[173] VL28-RT-08-R1 – Níveis de Segurança da Instrumentação – Cota 942m – Relatório Técnico – Elaborado pela Geoconsultoria, Outubro/2007.

Ficha de Inspeção de Segurança Regular

[174] Ficha de Inspeção Segurança - Barragem I parte 1. Ficha de Inspeção de Segurança Regular, Período de Inspeção: 12/01/2016 a 27/05/2016.

[175] Ficha de Inspeção Segurança - Barragem I parte 2. Ficha de Inspeção de Segurança Regular, Período de Inspeção: 06/06/2016 a 10/10/2016.

[176] Ficha de Inspeção Segurança - Barragem I parte 3. Ficha de Inspeção de Segurança Regular, Período de Inspeção: 24/10/2016 a 23/02/2017.

[177] Ficha de Inspeção Segurança - Barragem I parte 4. Ficha de Inspeção de Segurança Regular, Período de Inspeção: 09/03/2017 a 11/07/2017.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 157/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

[178] Ficha de Inspeção Segurança - Barragem I parte 5. Ficha de Inspeção de Segurança Regular, Período de Inspeção: 25/07/2017 a 19/09/2017.

Relatório de Visita

[179] VL28-RV-01 – Visita de Inspeção – Relatório de Visita – Elaborado pela Geoconsultoria, Abril/2007.

Consolidação de Dados

[180] VL55-RT22 – Relatório de Consolidação de Dados. Elaborado pela Geoconsultoria, Julho/2016.

Outros Documentos

[181] RL-1850JJ-X-30092 – Projeto Detalhado – Mina Córrego do Feijão – Relatório Técnico – “As Built” e Avaliação de Segurança da Barragem IV – Texto Elucidativo, Investigações, Ensaios e Desenhos. Elaborado por RDIZ Engenharia, abril/2009.

[182] Relatório BCV-B-B1-RE-001-B - Avaliação de Performance – Parecer Técnico. Elaborado pela DAM Engenharia e DF Consultoria, 2003.

[183] _20160203_0001.jpg: Imagem – Alteamento das barragens do córrego do Feijão – 2º Alteamento – 2ª Etapa. Julho de 1990. Elaborada por TECNOSAN.

[184] _20160203_0002.jpg: Imagem – Alteamento das barragens do córrego do Feijão – Seção dos Alteamentos. Fevereiro de 1981. Elaborada por TECNOSAN.

[185] Fichas de Inspeção Periódica de Barragens de 2013 a março de 2017. Elaboradas pela VALE, Sistema GEOTEC III.

[186] Estado de Conservação da estrutura de 2013 a 2016. Elaborados pela VALE.

[187] Relatório de anomalias de 2013 a 2015. Elaborado pela VALE.

[188] Relatórios mensais de Avaliação Periódica de Segurança Geotécnica de 2013 a 2016. Elaborados pela VALE.

[189] VALE.AL-LT-PFE-107-01.18 – Auditoria Técnica de Segurança 2018 – Fase VI B - Complexo Paraopeba – Mina Córrego do Feijão - Barragem I – Relatório de Inspeção de Segurança Regular – Laudo Técnico de Segurança de Barragem. Elaborado por Tractebel, Março/2018.

[190] WBH34-17-VALE-RTE-0039_REV0. doc: Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração. Complexo Paraopeba – Mina do Córrego do Feijão – Barragem I. Elaborado pela Walm em 19/04/2018.

[191] Relatório – Desvio água reservatório.doc: Relatório descritivo dos trabalhos de desvio de água do reservatório da Barragem I – CFJ. Elaborado pela Vale, Maio/2018.

[192] PA02-02-DE001_RB.dwg: Deplecionamento da Freática da Barragem I. Rebaixamento com drenos sub-horizontais profundos. Planta, Seção e Detalhe. Elaborado pela Vale, Maio/2018.

[193] PA02-02-DE002_RB.dwg: Deplecionamento da Freática da Barragem I. Rebaixamento com poços. Planta e Seção. Elaborado pela Vale, Maio/2018.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 158/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

[194] PA2-02-RT01-B-RA-DHPsBI.doc: Projeto Executivo – Relatório Técnico. Barragem I – Deplecionamento da Freática. Elaborado pela Vale, Maio/2018.

[195] Memorial de Instalação RADAR.doc: Elaborado pela Vale, Maio/2018.

[196] Recibo de Formalização Processo GAP.doc: Recibo de Entrega de Documentos nº 0748605/2015. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento – Governo do Estado de Minas Gerais, Agosto/2015.

[197] EIA_Tomoi_Textos.pdf e EIA_Tomoi_Vol1e2.pdf: Continuidade das operações da Mina da Jangada - Estudo de Impacto Ambiental e Plano de Controle Ambiental - EIA/PCA. Elaborado pela Vale, Agosto de 2014.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 159/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

APÊNDICE B

CHECKLIST DA INSPEÇÃO TÉCNICA



CheckList_Barragem
I.xls

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 160/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

APÊNDICE C

RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DA INSPEÇÃO DE CAMPO

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 161/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 1 – Condição dos acessos.



Foto 2 – Condição da crista.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 162/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 3 – Condição do talude de montante - região central com vista para ombreira esquerda.



Foto 4 – Condição do talude de montante - com vista para ombreira direita.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 163/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 5 – Canaletas trincadas na região do maciço na ombreira esquerda – EL. 937 m.



Foto 6 – Canaletas trincadas na região do maciço na ombreira esquerda – EL. 929,5 m.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 164/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 7 – Canaletas trincadas na região do maciço, ombreira esquerda (ELs.916,5 e 910 m).



Foto 8 - Pequeno foco erosivo na El. 922,5 m.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 165/265
		Nº TUV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 9 – Canal trincado – Elevação 905 m.



Foto 10 – Solapamento da base (contato entre a descida e o canal) nas trincheiras indicadas existentes na berma na EL. 899 m).

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 166/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 11 – Inclinação da parede da descida d'água na terceira trincheira (da ombreira direita para esquerda) na berma na EL. 899 m.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 167/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 12 – Surgência de água na canaleta próxima a segunda trincheira (da ombreira direita para esquerda) na berma na EL. 899 m.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 168/265
		Nº TUV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 13 – Presença de coloide na saída do dreno interno que desagua no canal da segunda trincheira (da ombreira direita para esquerda) na berma na EL. 899 m.



Foto 14 – Surgência de água sob dispositivo de drenagem no contato do maciço com a ombreira esquerda.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 169/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 15 – Surgência de água sob dispositivo de drenagem no contato do maciço com a ombreira direita.



Foto 16 - Presença de colóide na saída do dreno interno que deságua no contato do maciço com a ombreira direita. Observar área de saturação de face.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 170/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 17 – Solapamento no início da descida d'água em escada, na berma da EL. 872 m.



Foto 18 - Solapamento no início da descida d'água em escada, na berma da EL. 872 m.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 171/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 19– Escoramento realizado em um talude da barragem que apresentou ruptura local EL. 895m.



Foto 20 – Erosão na ombreira direita da barragem, na região próxima ao pé.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 172/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 21 - Piezômetros e/ou medidores de nível de água e marcos superficiais instalados na barragem.



Foto 22 - Medidor de vazão da drenagem interna.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 173/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 23 - Vista parcial do reservatório olhando a partir da crista para a ombreira direita.



Foto 24 - Vista parcial do reservatório olhando a partir da crista para a ombreira esquerda.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 174/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 25 - Sistema extravasor - Torre 2 (elevação inferida com base na referência de nível presente na lateral da torre 2).



Foto 26 – Sistema extravasor - Torres 2 e 3 (elevações inferidas com base na referência de nível presente na lateral da torre 2).

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 175/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 27 - Sistema de bombeamento que conduz a vazão para a torre 3.



Foto 28 – Desemboque da galeria de fundo no canal extravasor.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 176/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 29 – Canal Extravasor.



Foto 30 – Desemboque do canal extravasor para a descida em rampa.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 177/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 31 – Rampa que conduz as águas vertidas da Barragem I em direção ao reservatório da Barragem VI.



Foto 32 – Trecho do canal não revestido, assoreado e com presença de vegetação, que conduz as águas vertidas para o reservatório da Barragem VI.

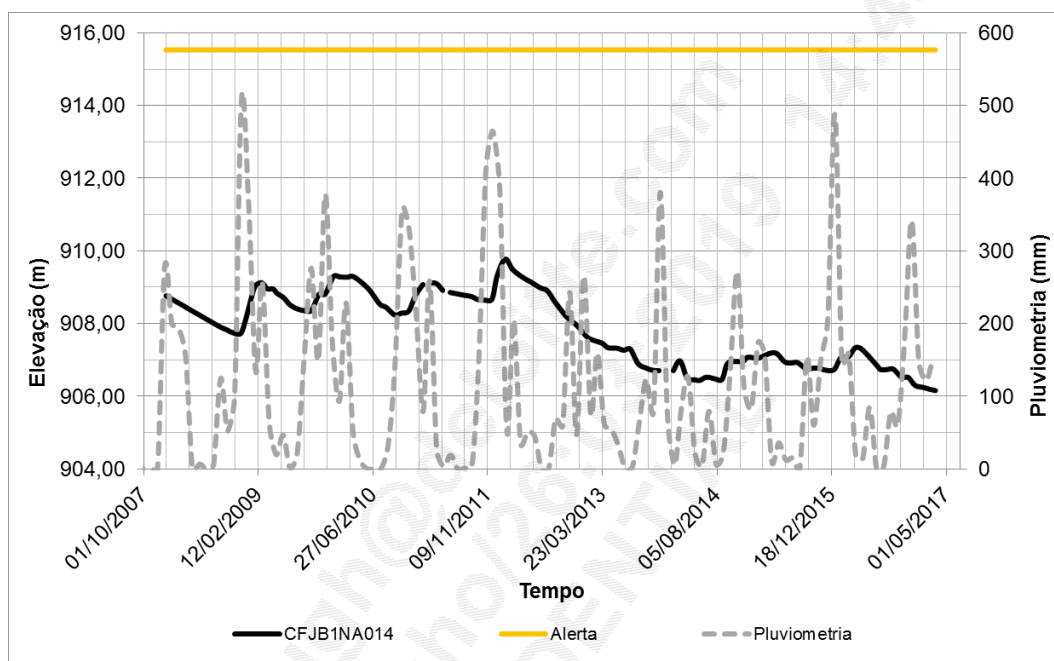
	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 178/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

APÊNDICE D

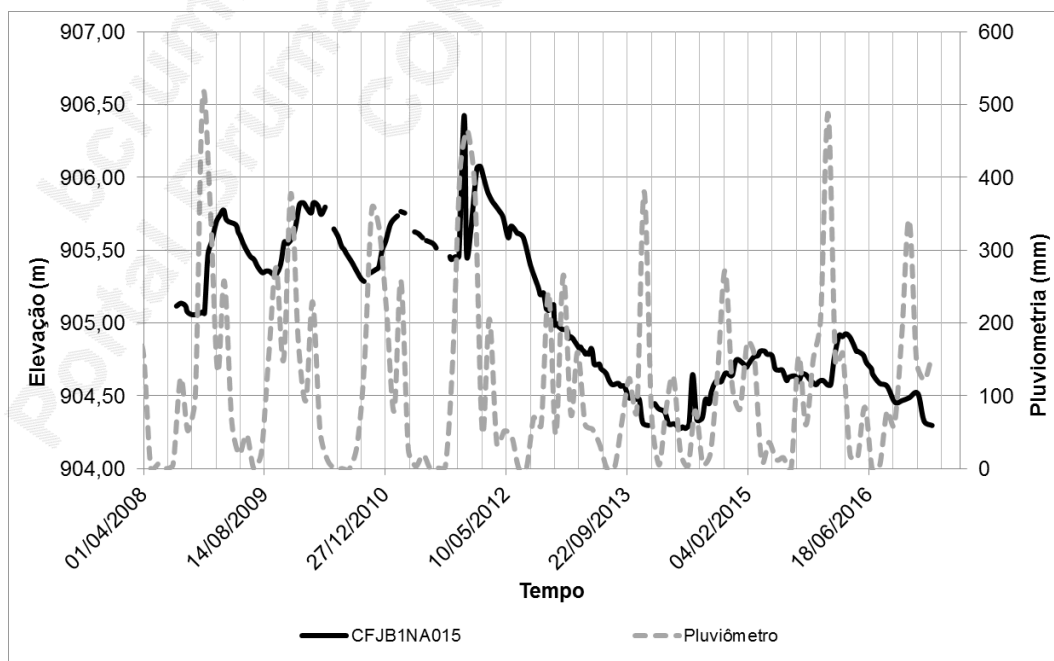
DADOS DE INSTRUMENTOS GEOTÉCNICOS

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 179/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

INDICADORES DE NÍVEL D'ÁGUA

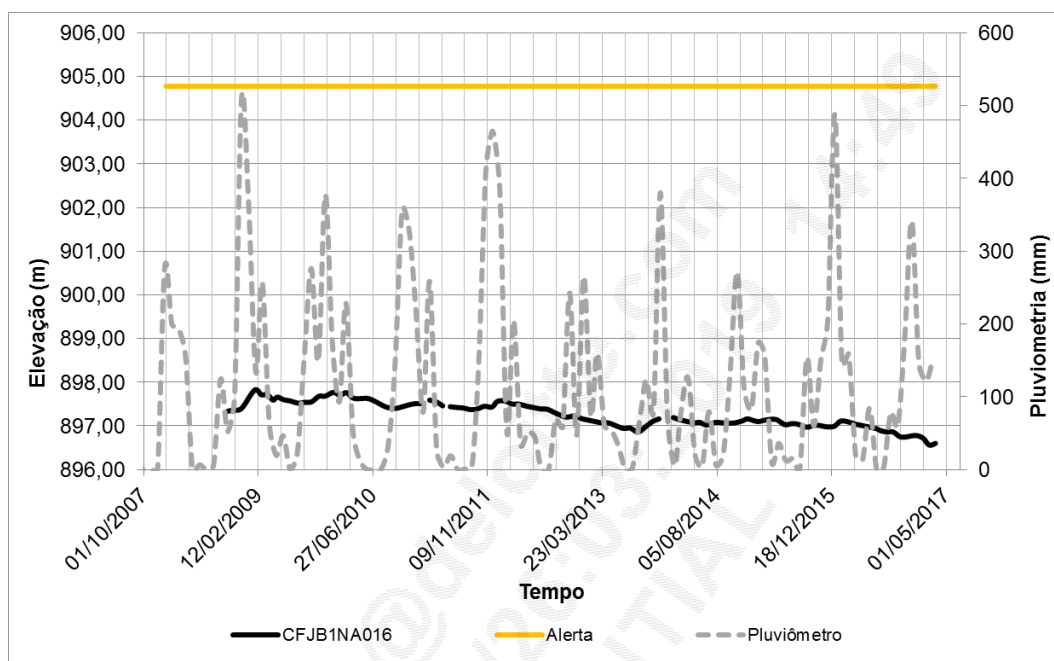


Medições do instrumento **CFJBINA014**. Fonte: Doc. [128].

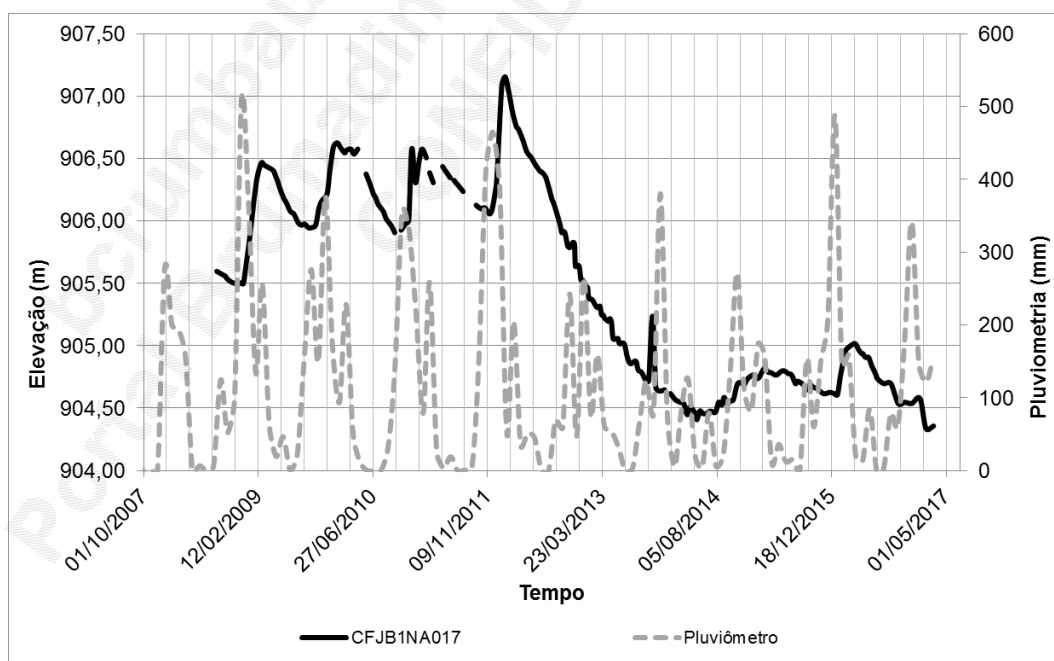


Medições do instrumento **CFJBINA015**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 180/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

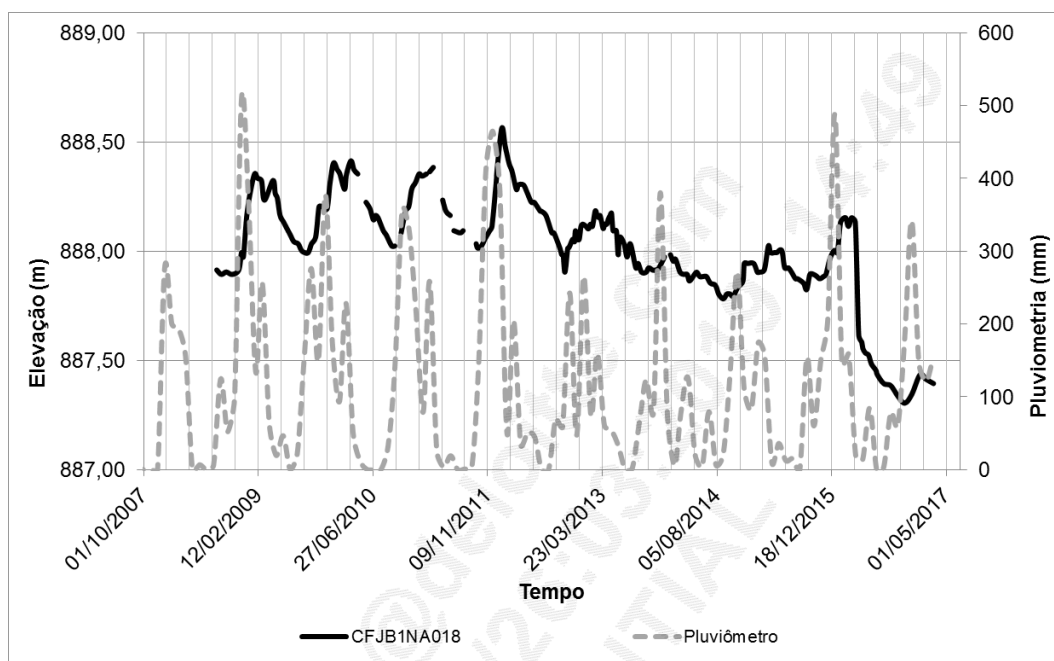


Medições do instrumento **CFJBINA016**. Fonte: Doc. [128].

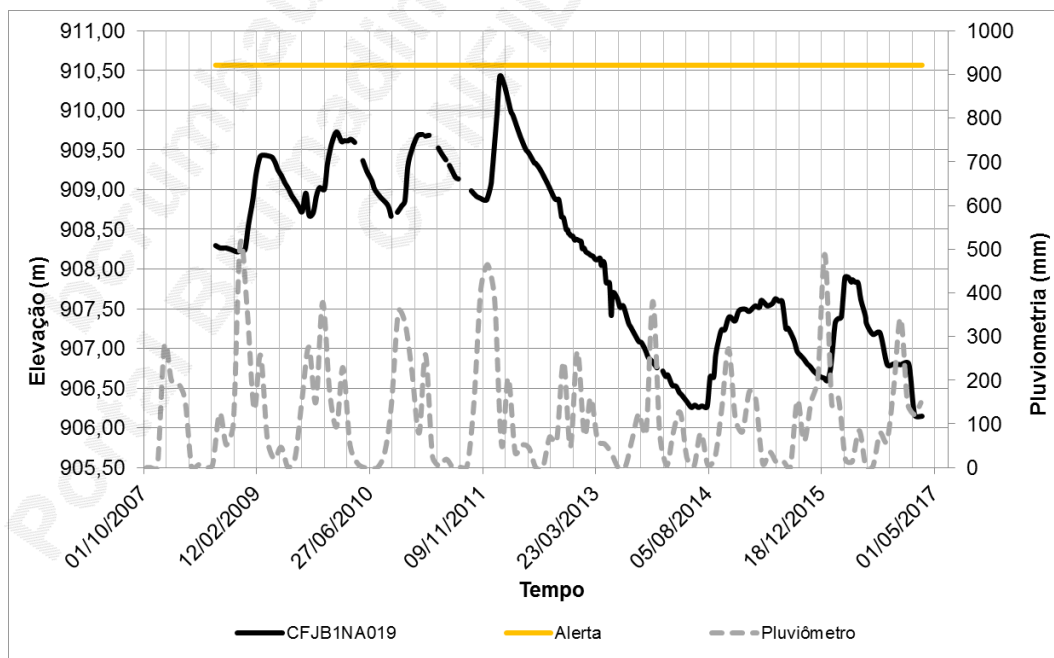


Medições do instrumento **CFJBINA017**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 181/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

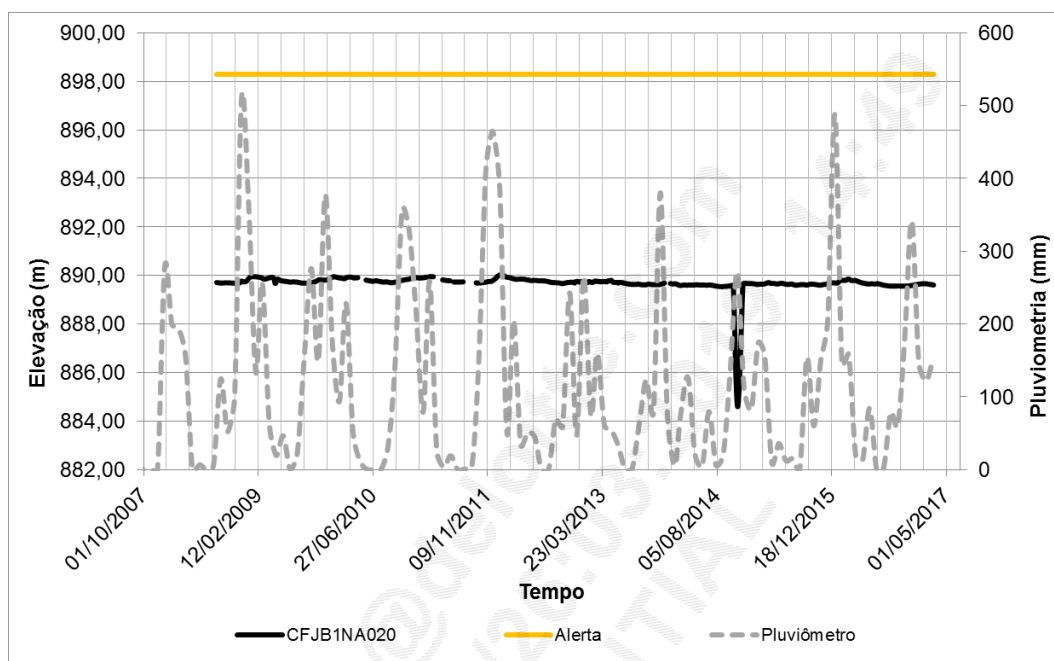


Medições do instrumento **CFJBINA018**. Fonte: Doc. [128].

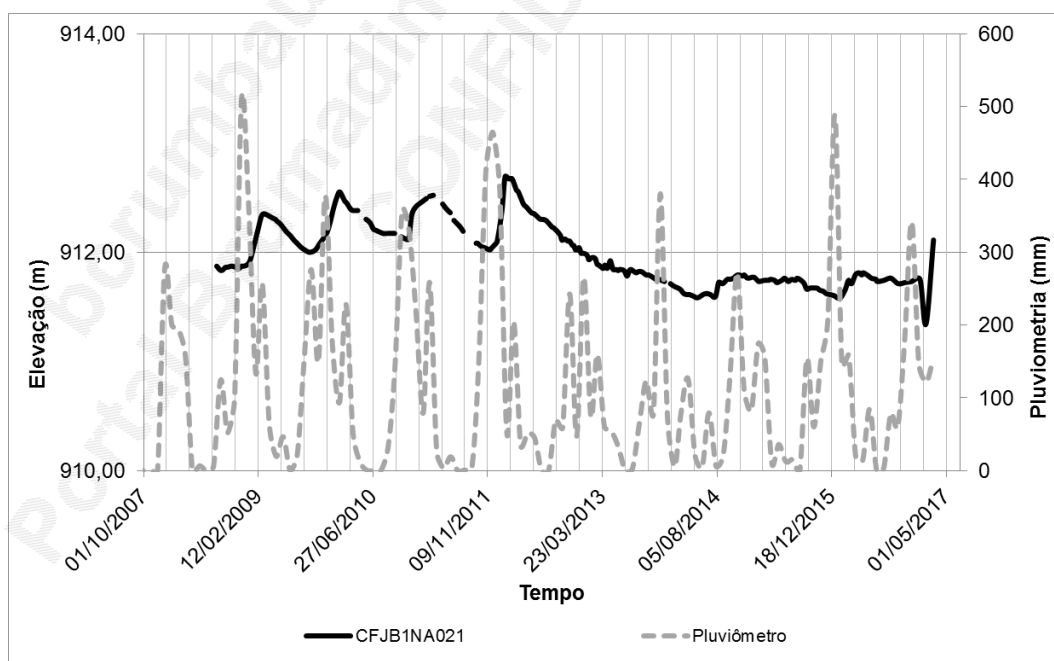


Medições do instrumento **CFJBINA019**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 182/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

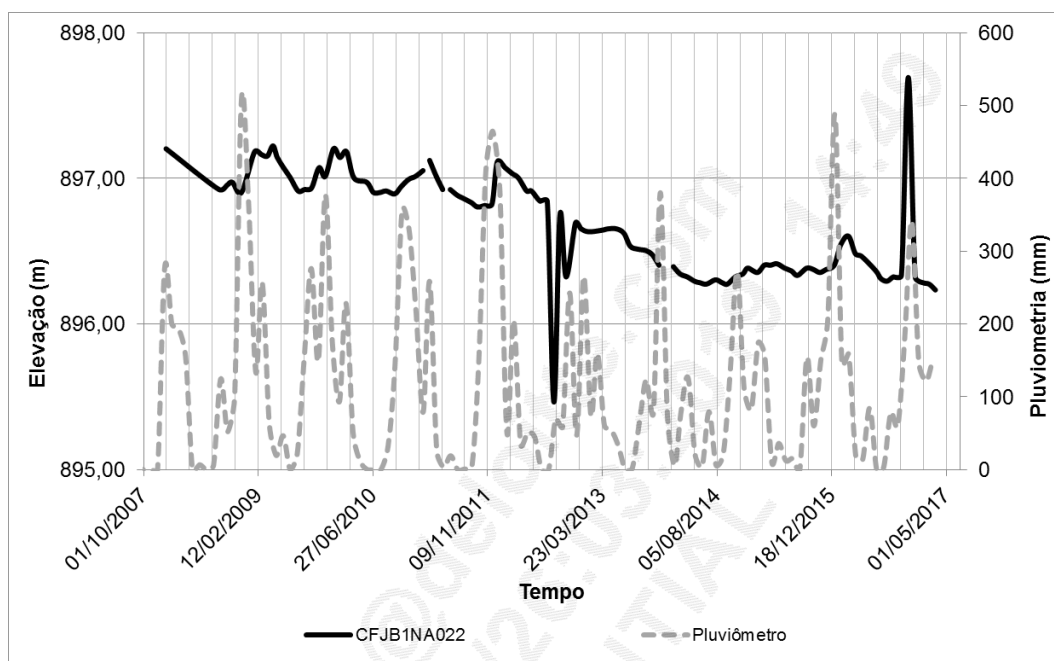


Medições do instrumento **CFJBINA020**. Fonte: Doc. [128].

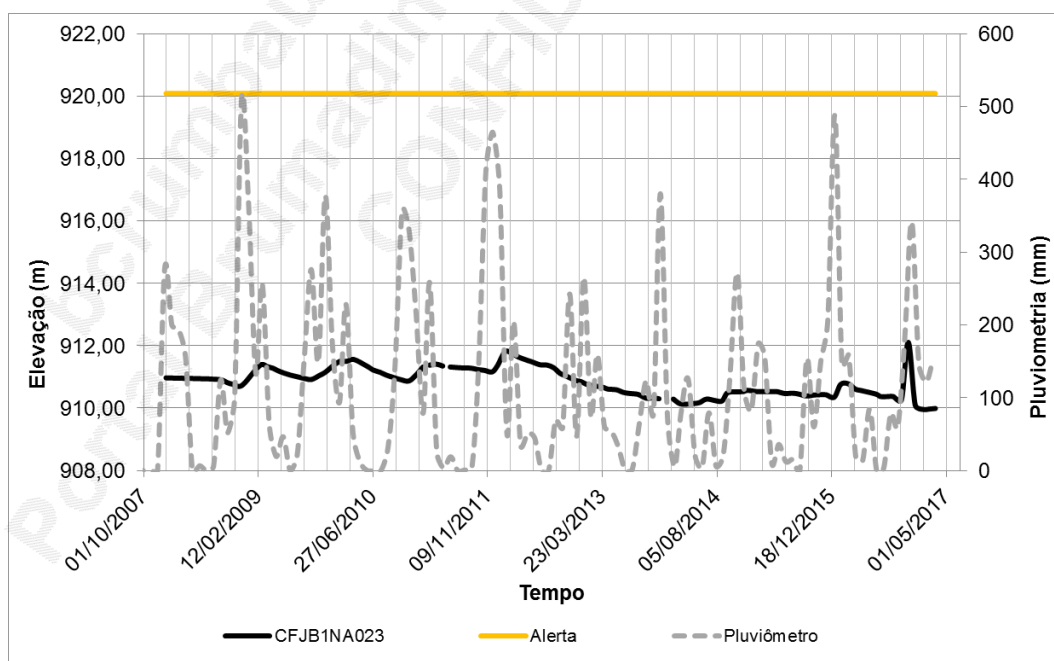


Medições do instrumento **CFJBINA021**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 183/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

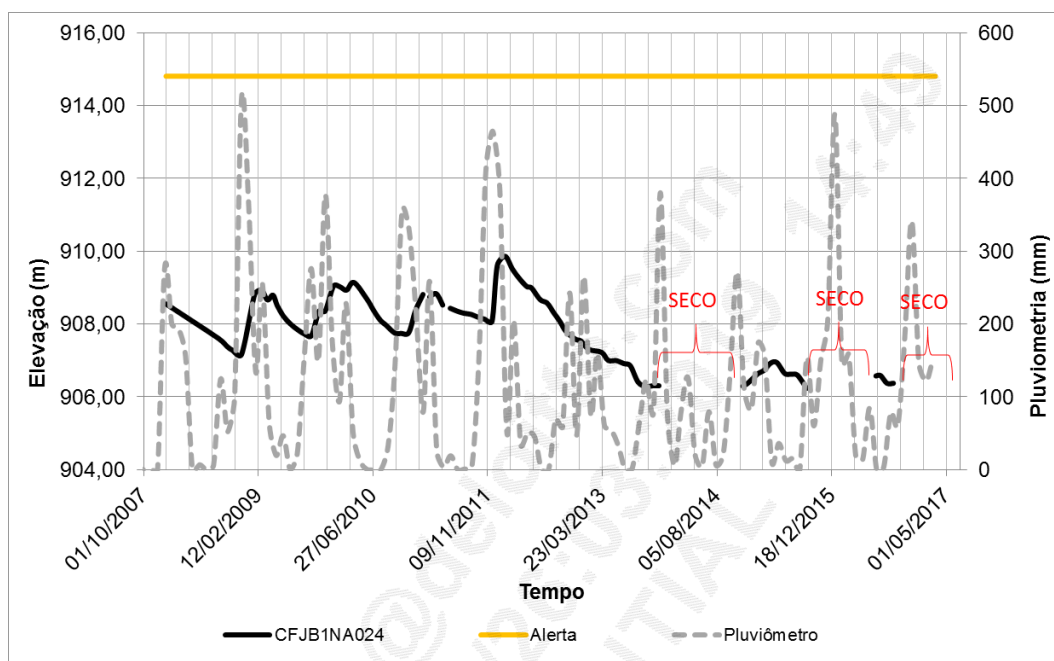


Medições do instrumento **CFJBINA022**. Fonte: Doc. [128].

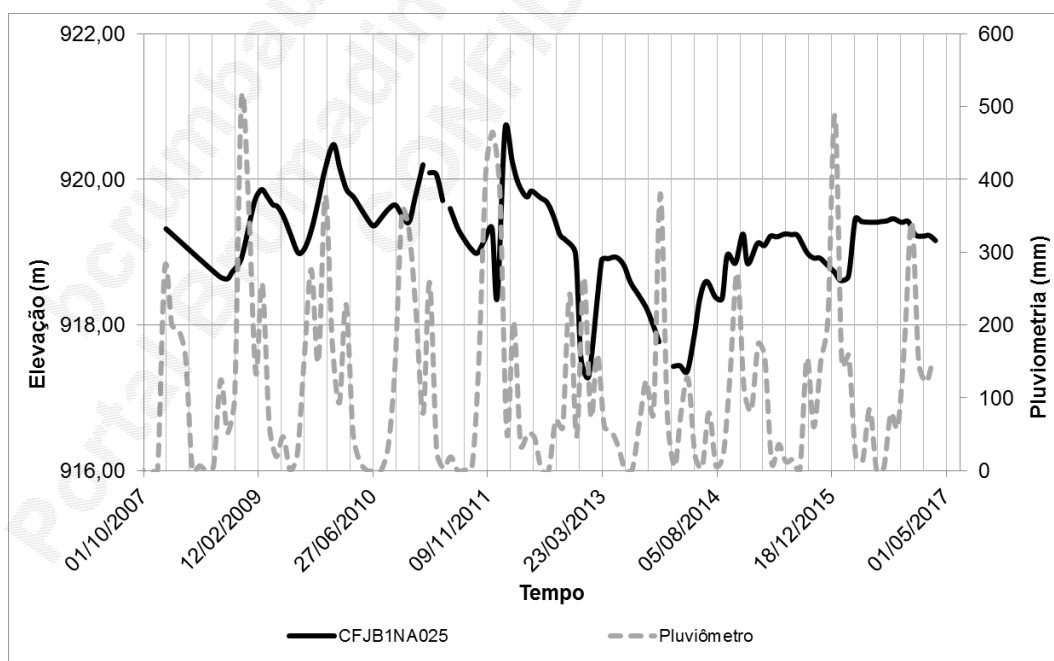


Medições do instrumento **CFJBINA023**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 184/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

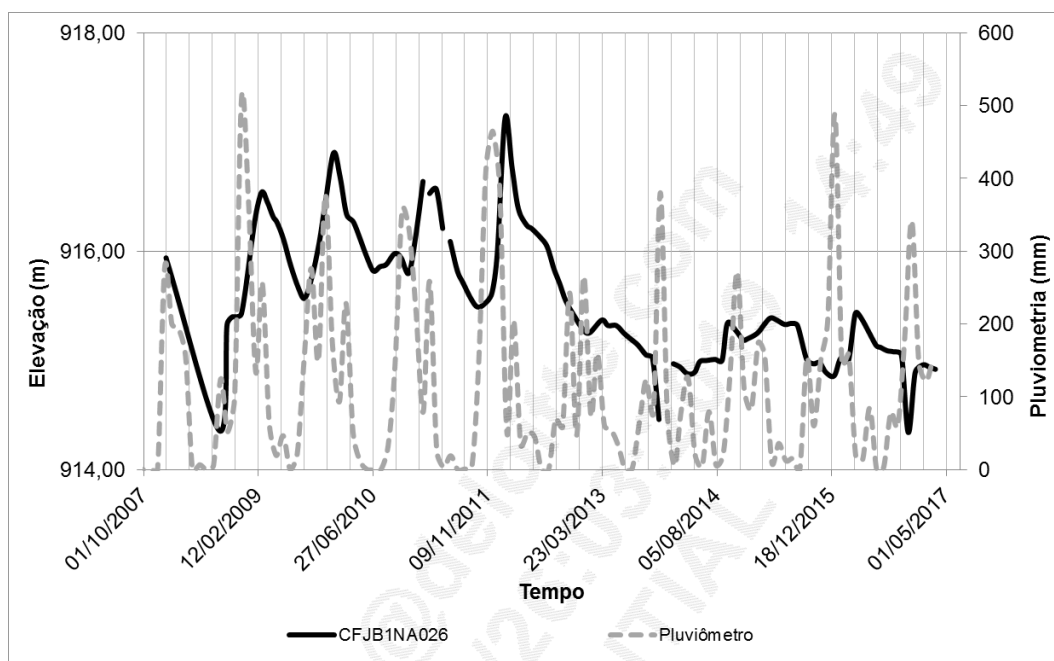


Medições do instrumento **CFJBINA024** Fonte: Doc. [128].

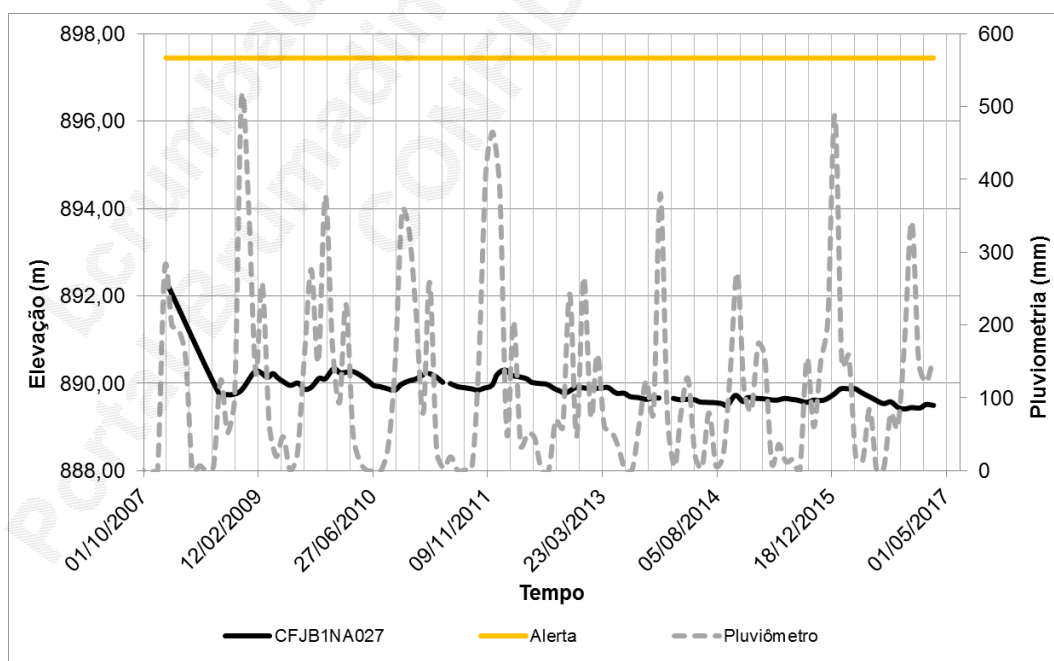


Medições do instrumento **CFJBINA025**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 185/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

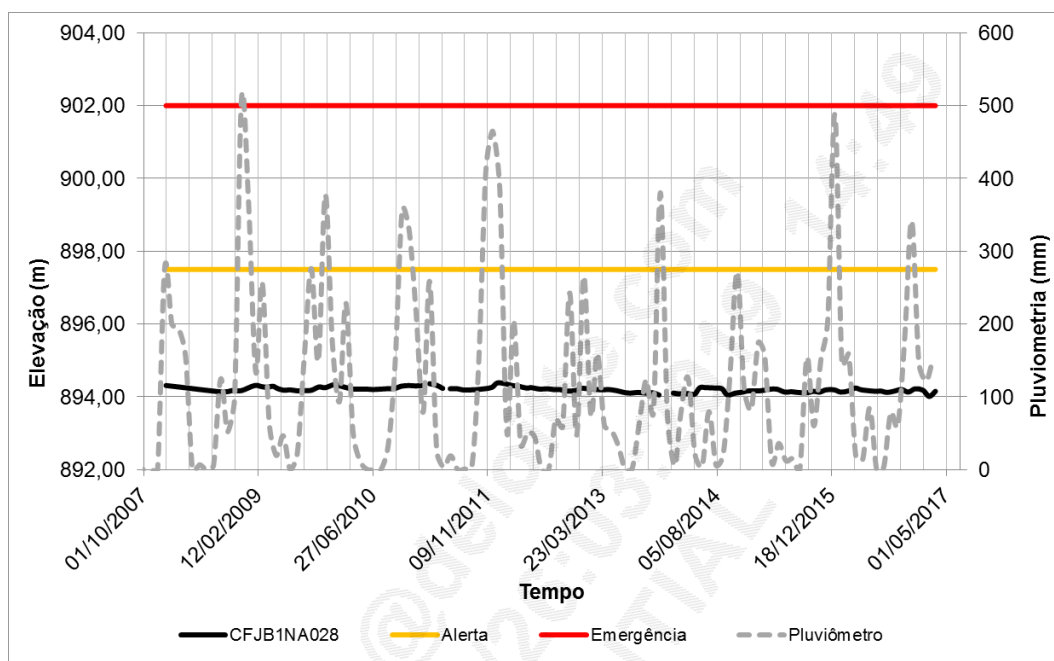


Medições do instrumento **CFJBINA026**. Fonte: Doc. [128].

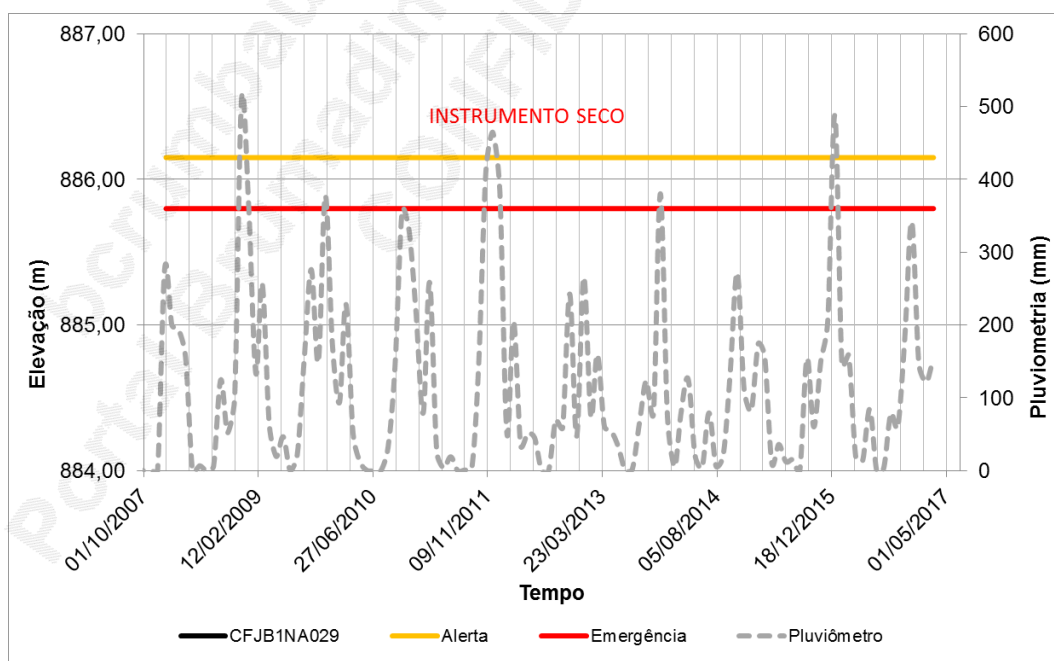


Medições do instrumento **CFJBINA027**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 186/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

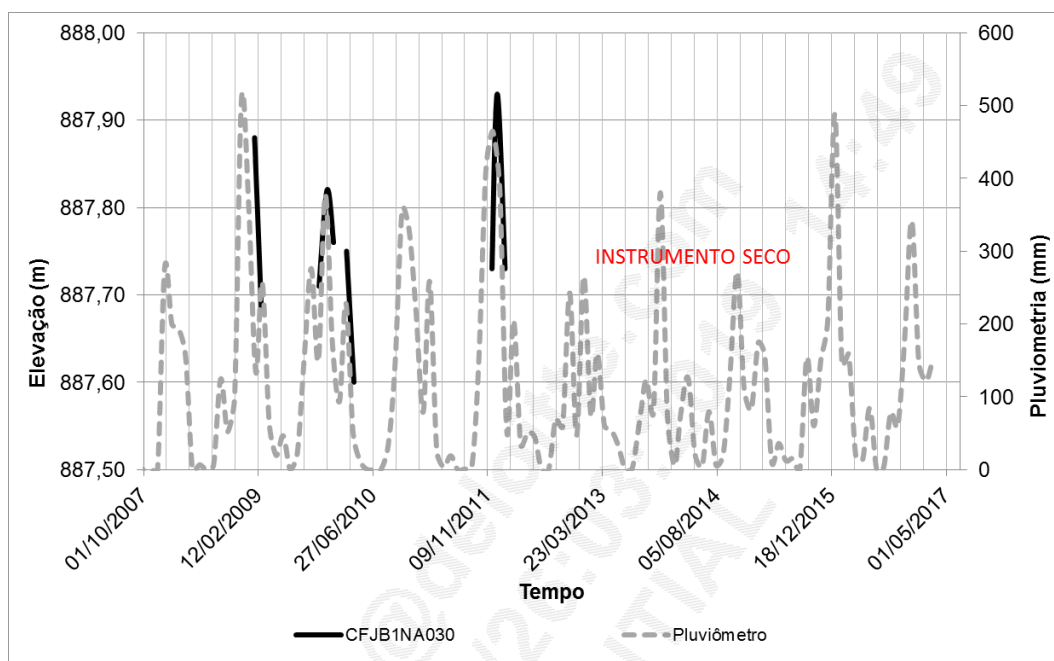


Medições do instrumento **CFJBINA028**. Fonte: Doc. [128].

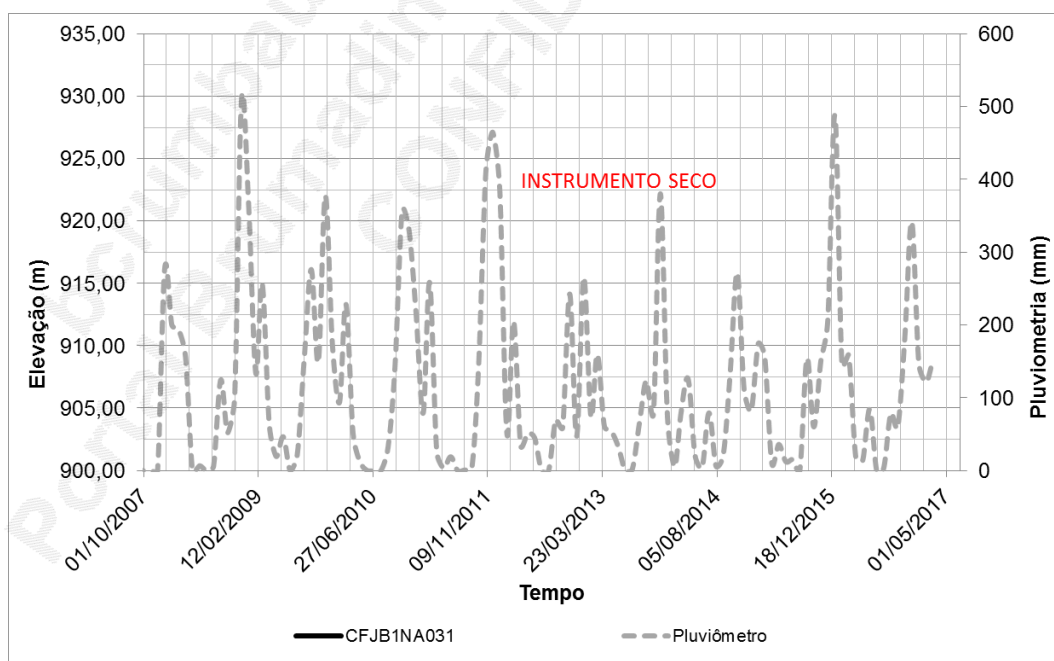


Medições do instrumento **CFJBINA029**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 187/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

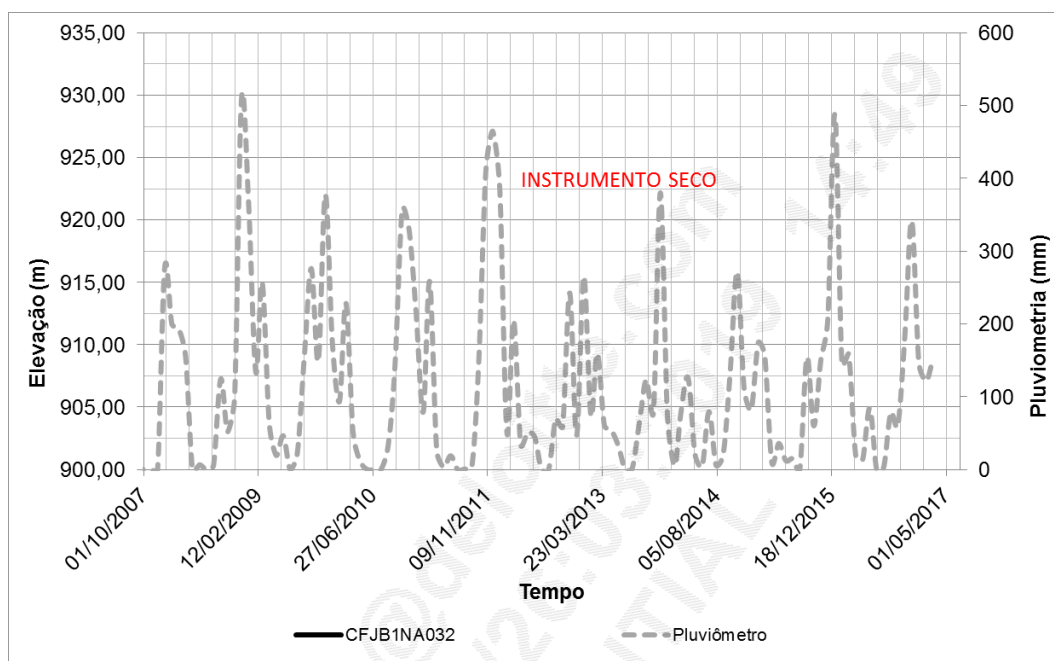


Medições do instrumento **CFJBINA030**. Fonte: Doc. [128].

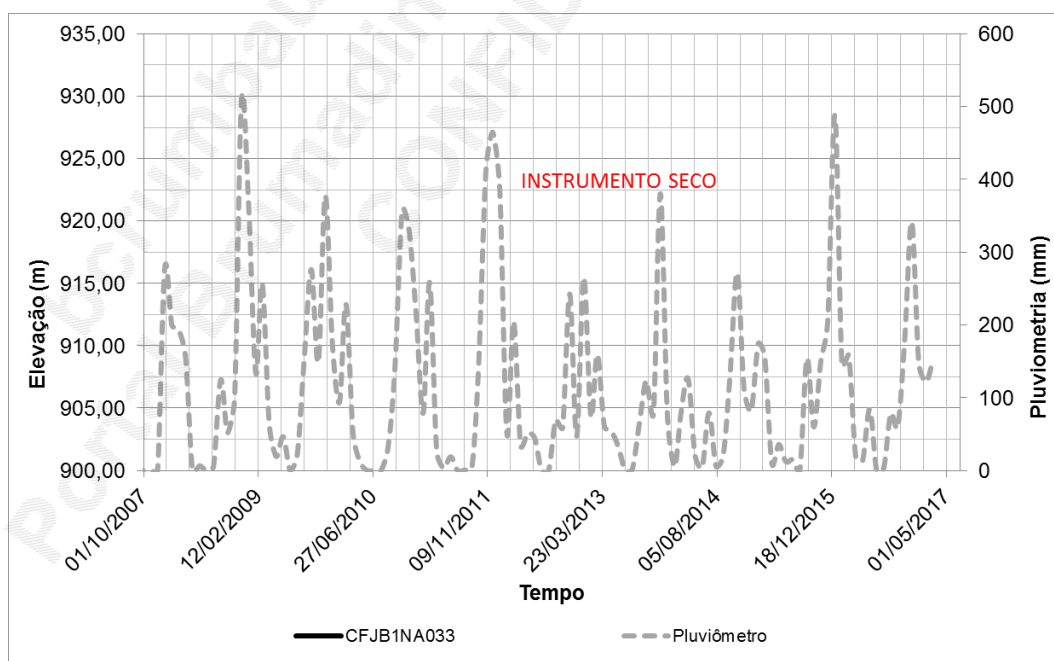


Medições do instrumento **CFJBINA031**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 188/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

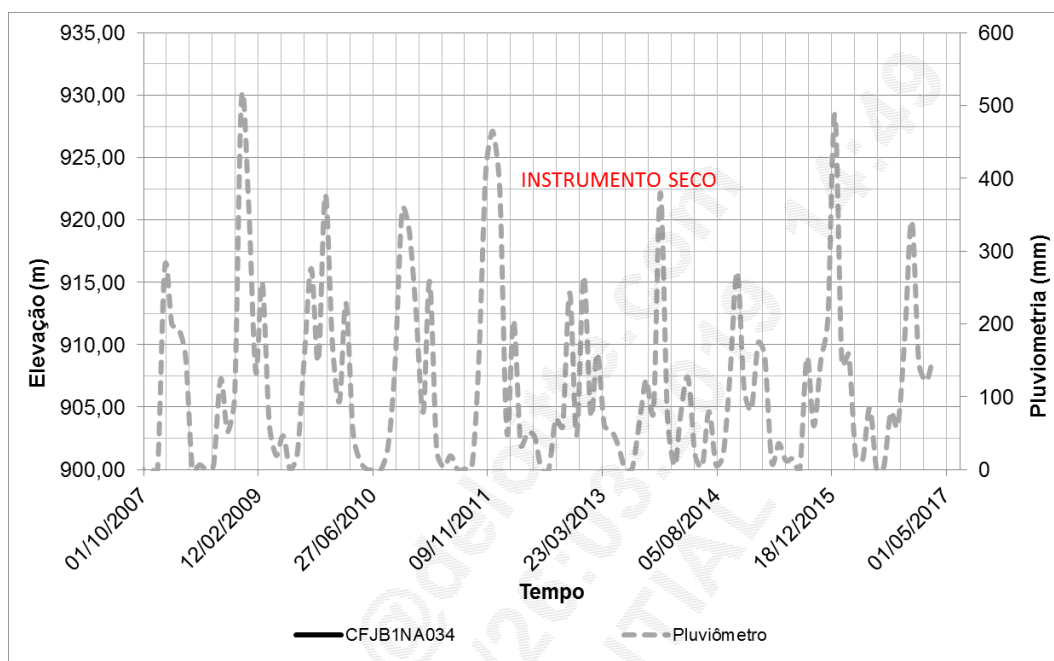


Medições do instrumento **CFJBINA032**. Fonte: Doc. [128].

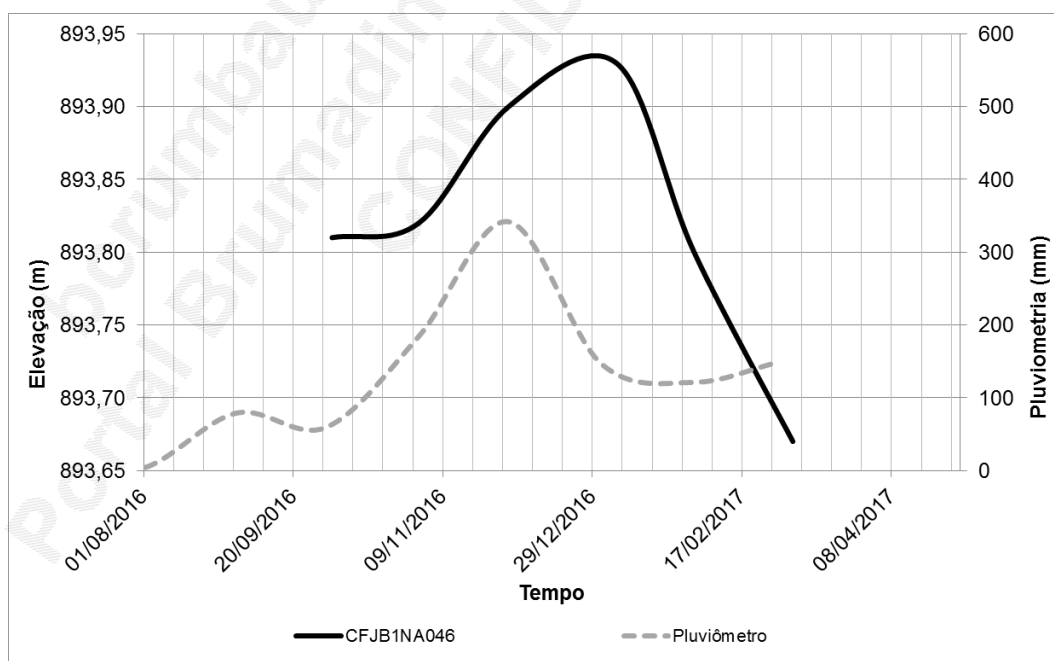


Medições do instrumento **CFJBINA033**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 189/265
		Nº TUV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

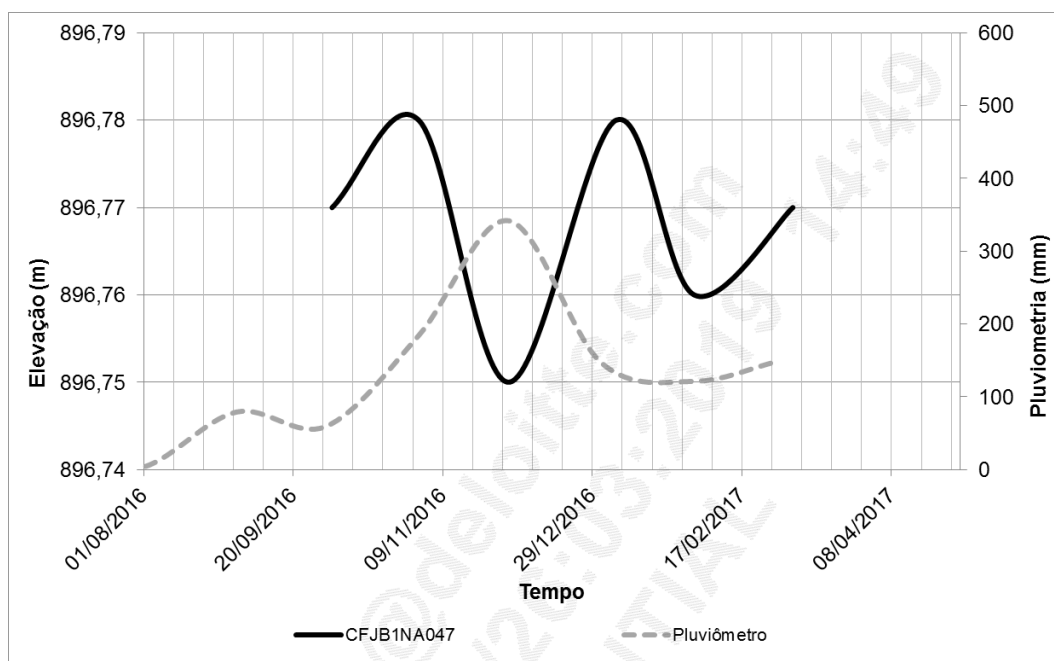


Medições do instrumento **CFJBINA034**. Fonte: Doc. [128].

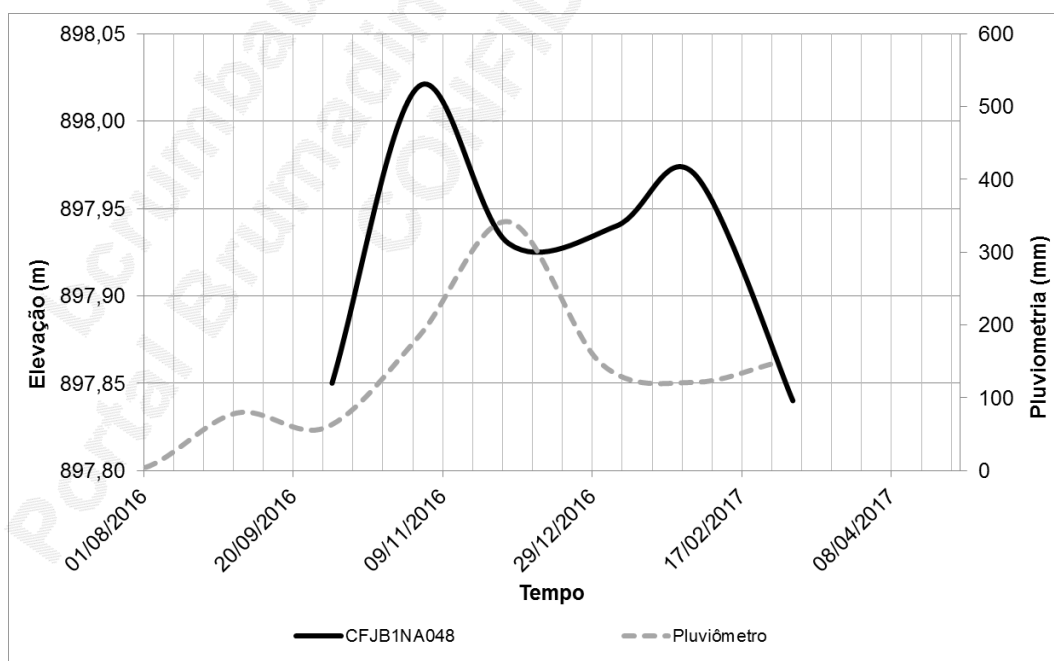


Medições do instrumento **CFJBINA046**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 190/265
		Nº TUV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

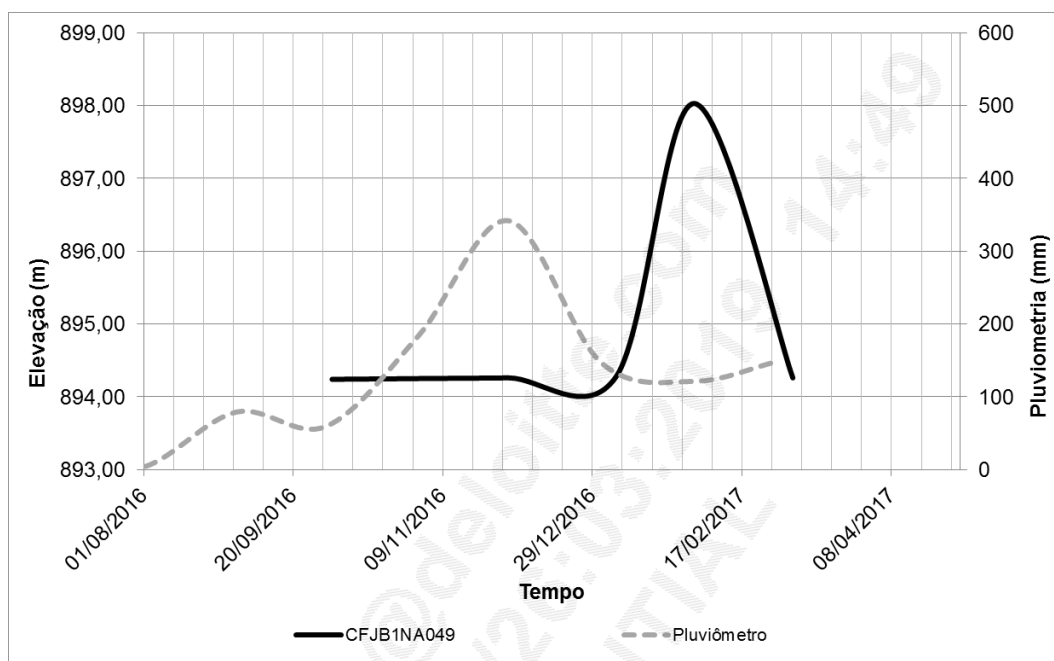


Medições do instrumento **CFJBINA047**. Fonte: Doc. [128].

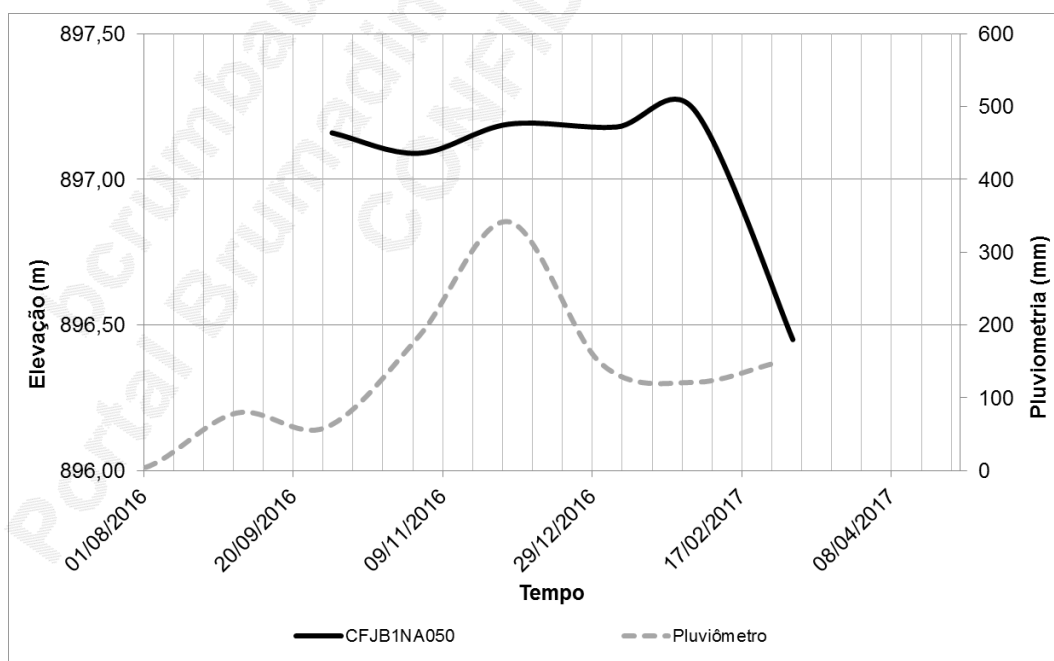


Medições do instrumento **CFJBINA048**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 191/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



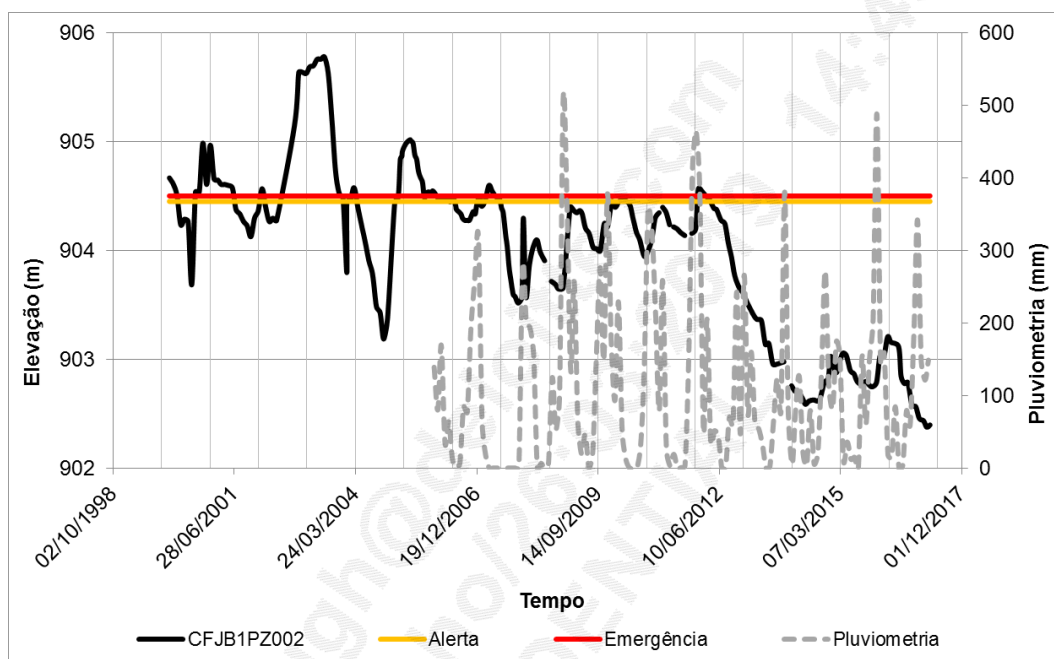
Medições do instrumento **CFJBINA049**. Fonte: Doc. [128].



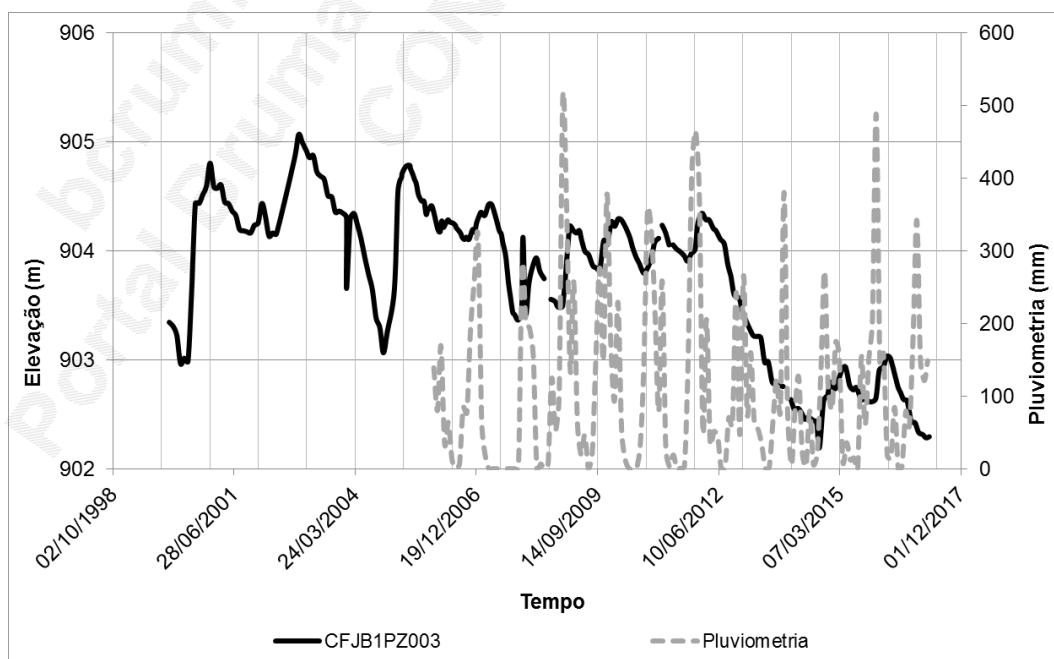
Medições do instrumento **CFJBINA050**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 192/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

PIEZÔMETROS

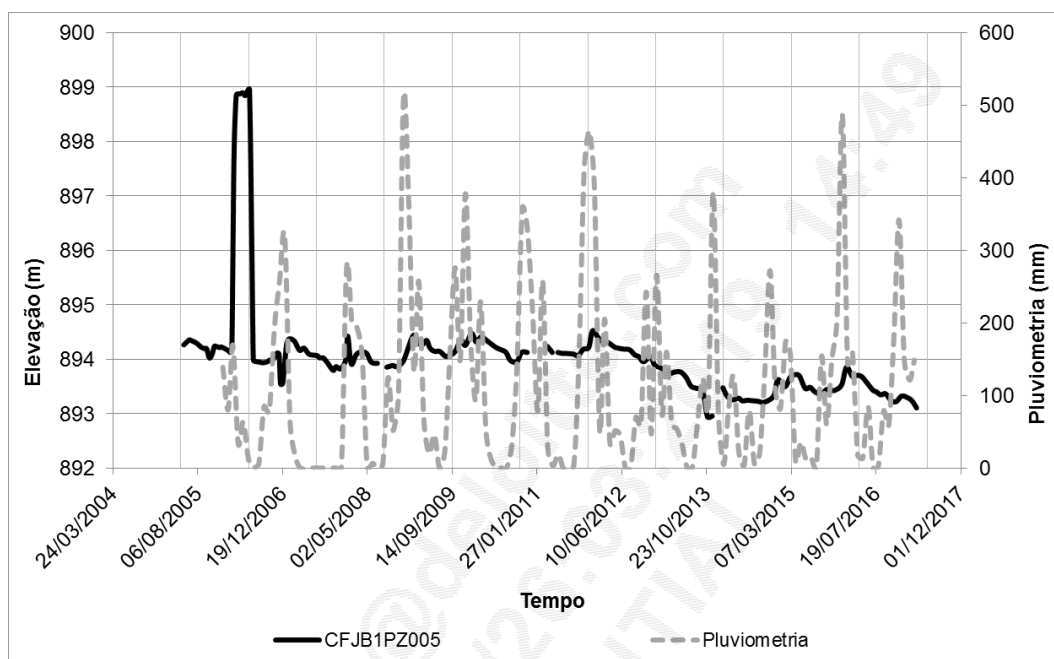


Medições do instrumento **CFJB1PZ002**. Fonte: Doc. [128].

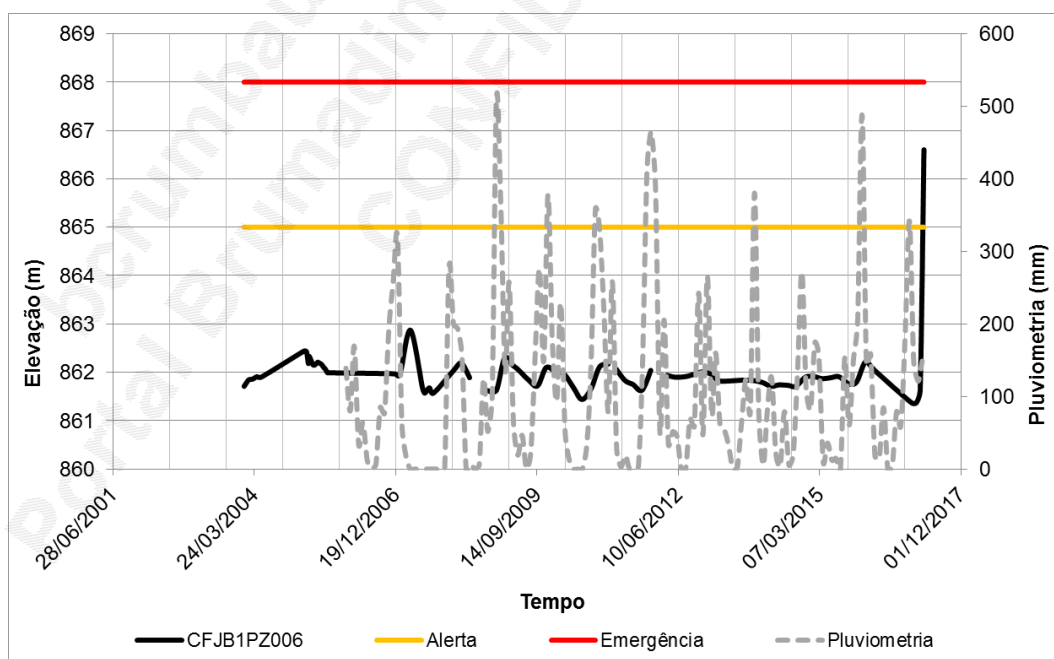


Medições do instrumento **CFJB1PZ003**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 193/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

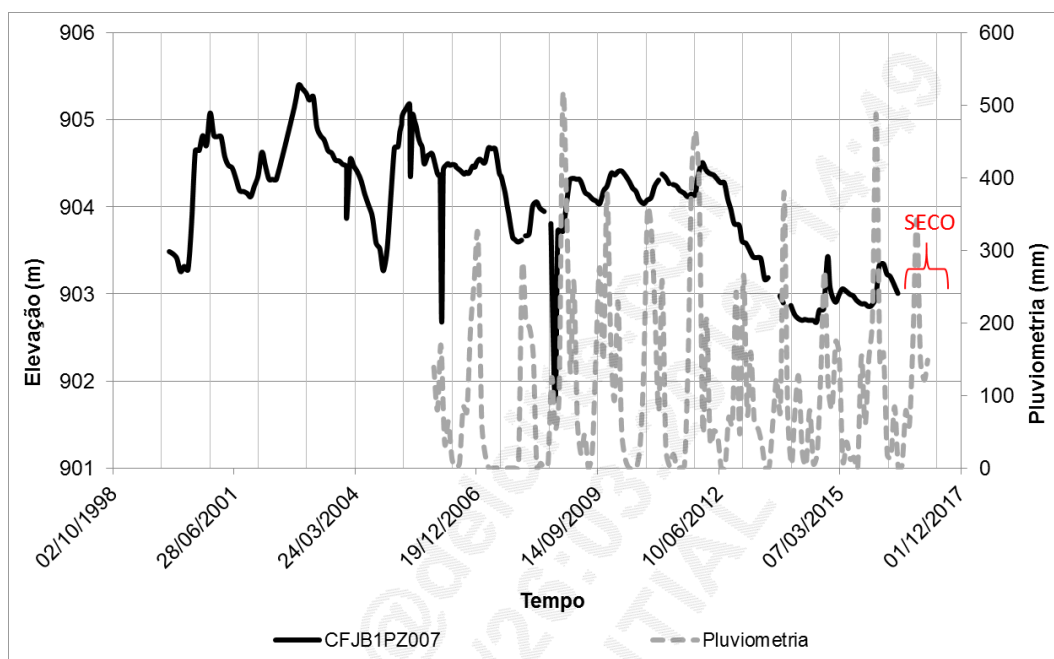


Medições do instrumento **CFJB1PZ005**. Fonte: Doc. [128].

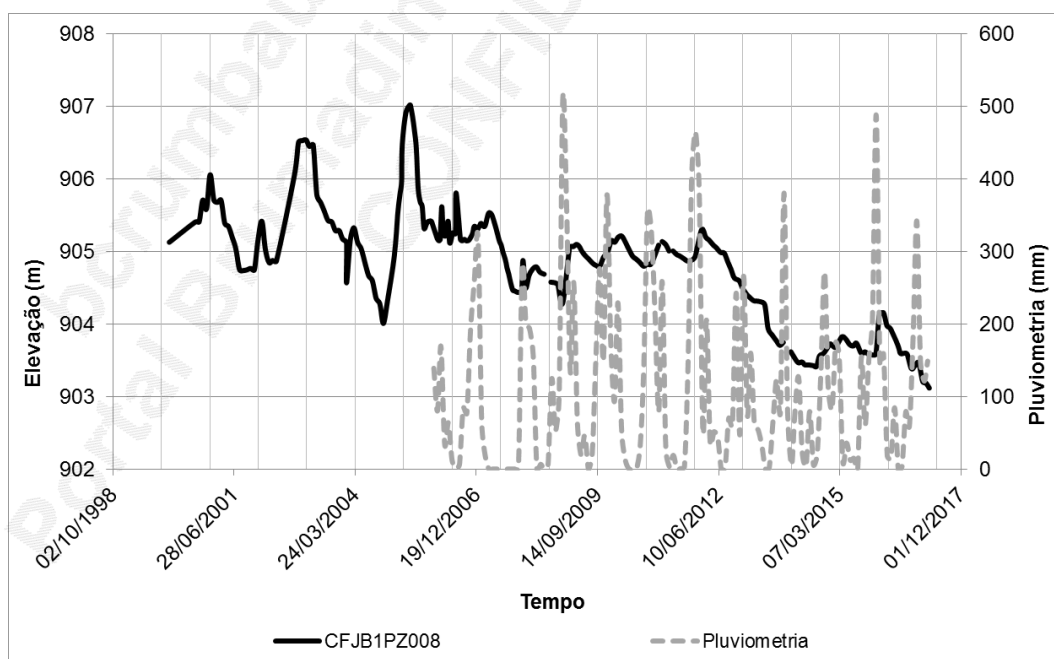


Medições do instrumento **CFJB1PZ006**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 194/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

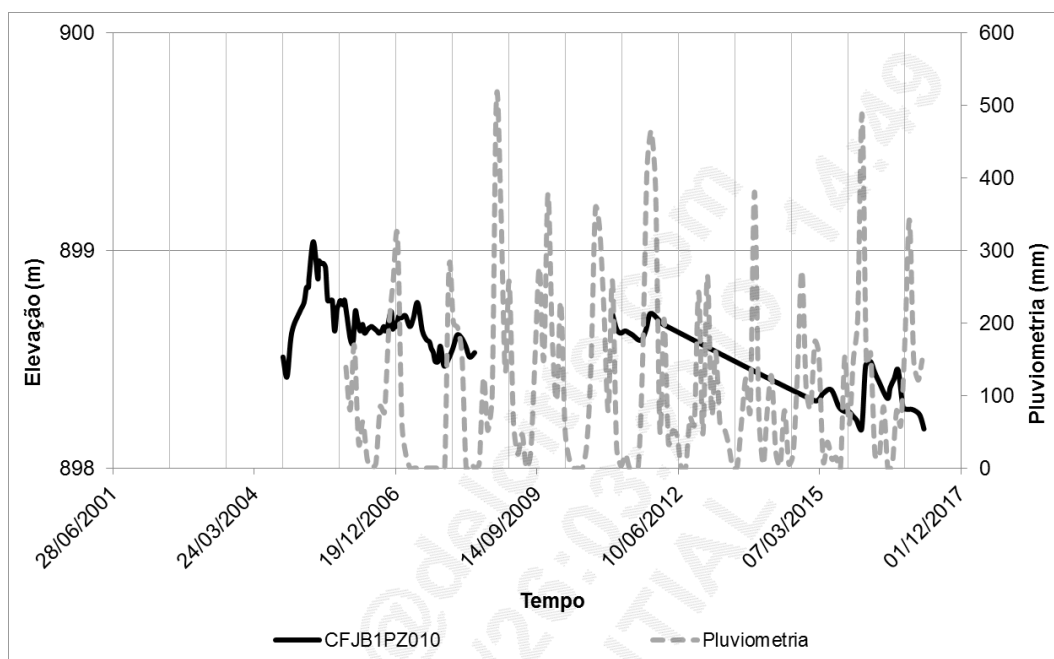


Medições do instrumento **CFJB1PZ007**. Fonte: Doc. [128].

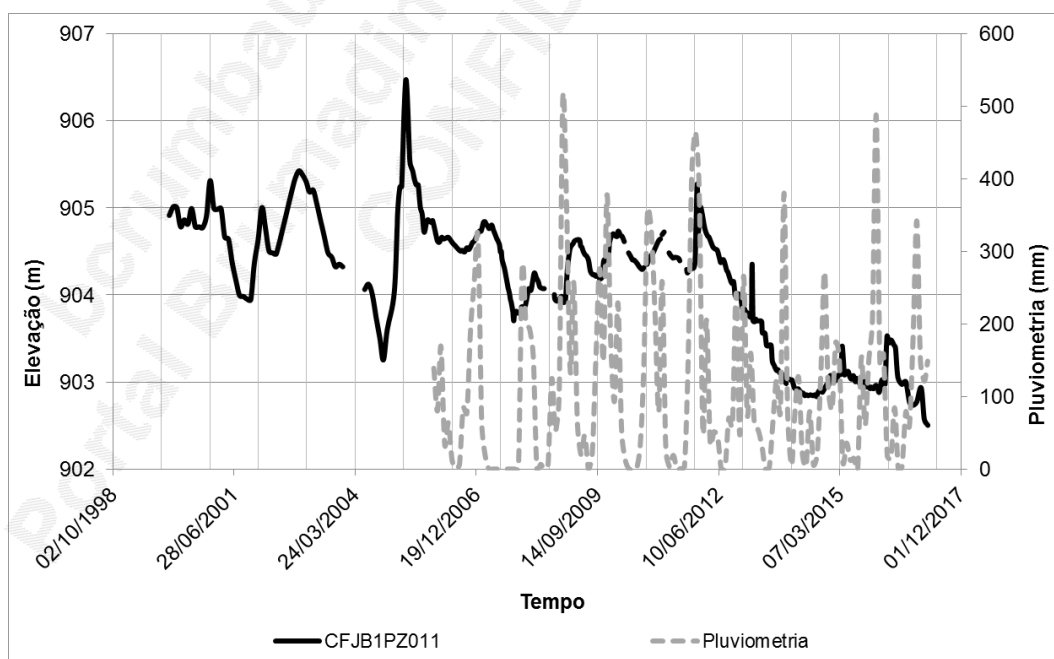


Medições do instrumento **CFJB1PZ008**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 195/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

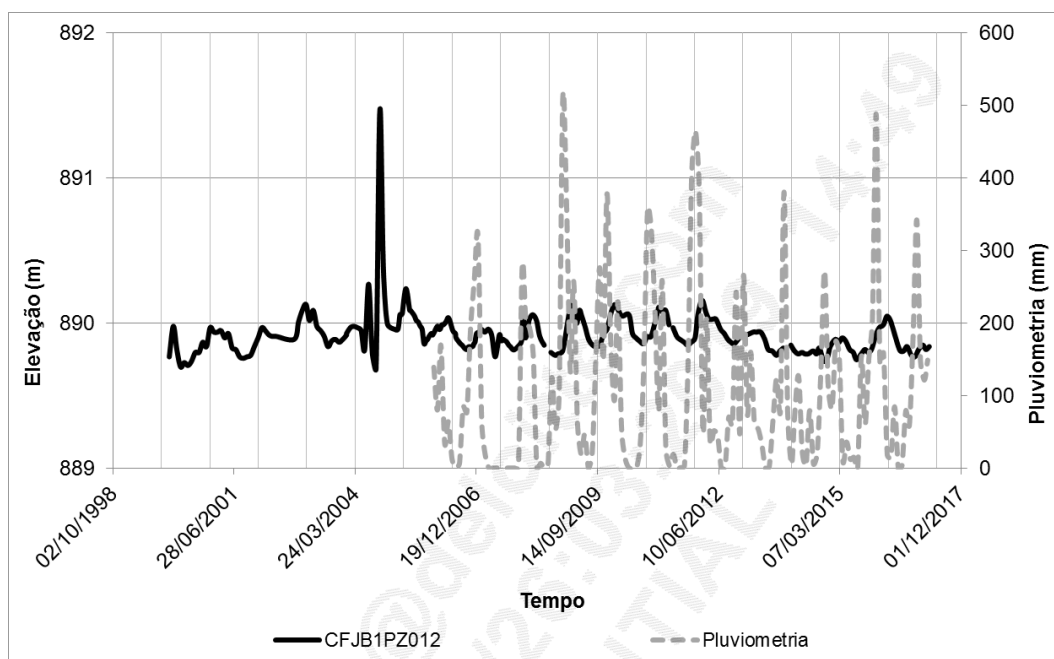


Medições do instrumento **CFJB1PZ010**. Fonte: Doc. [128].

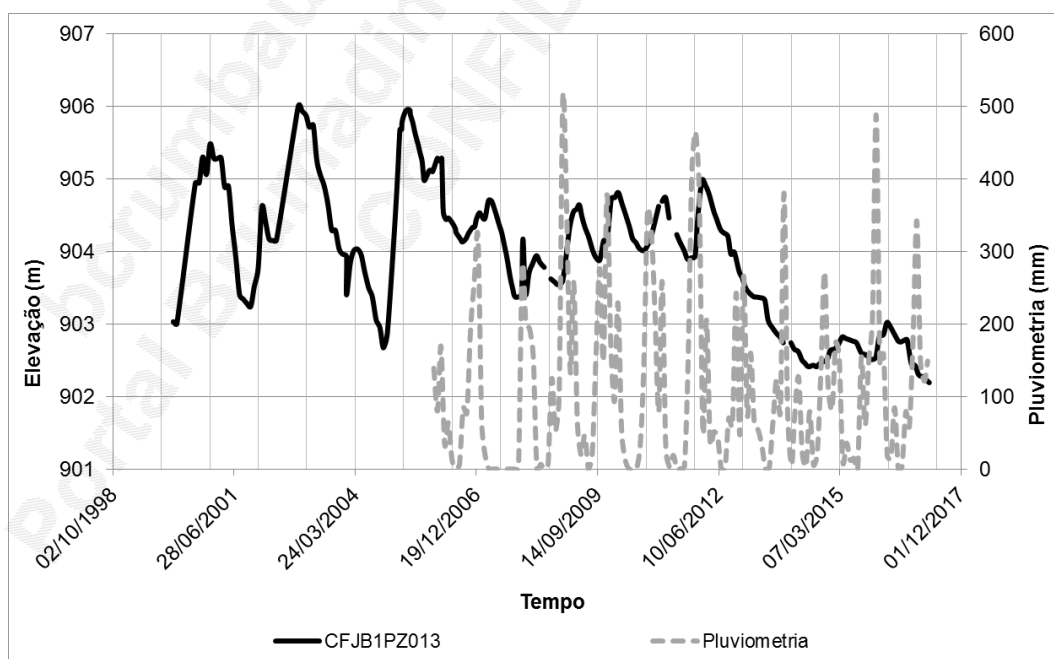


Medições do instrumento **CFJB1PZ011**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 196/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

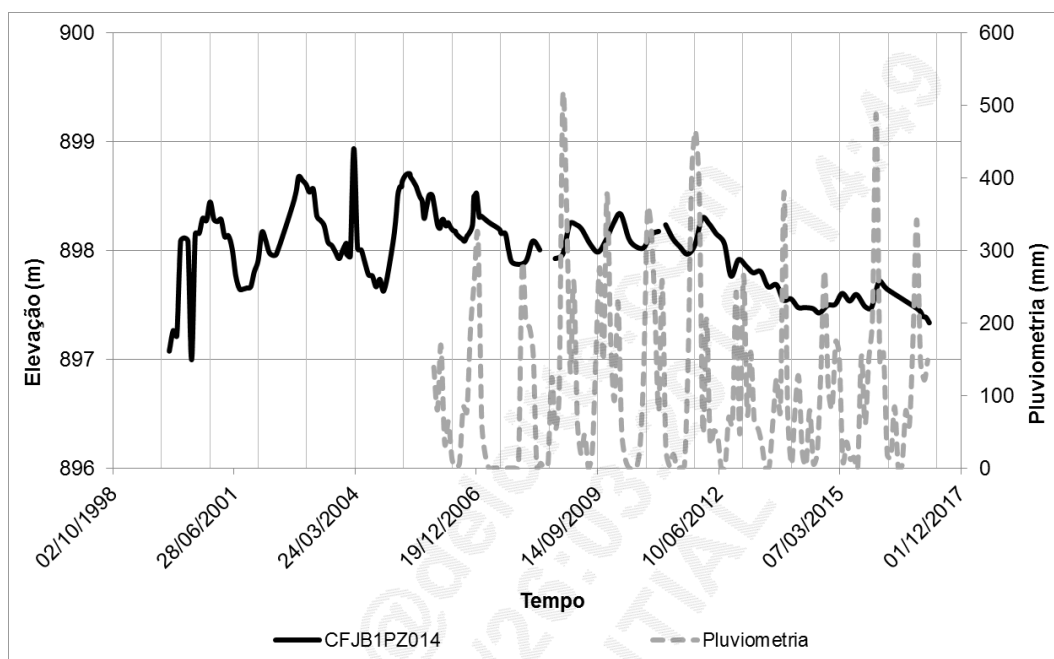


Medições do instrumento **CFJB1PZ012**. Fonte: Doc. [128].

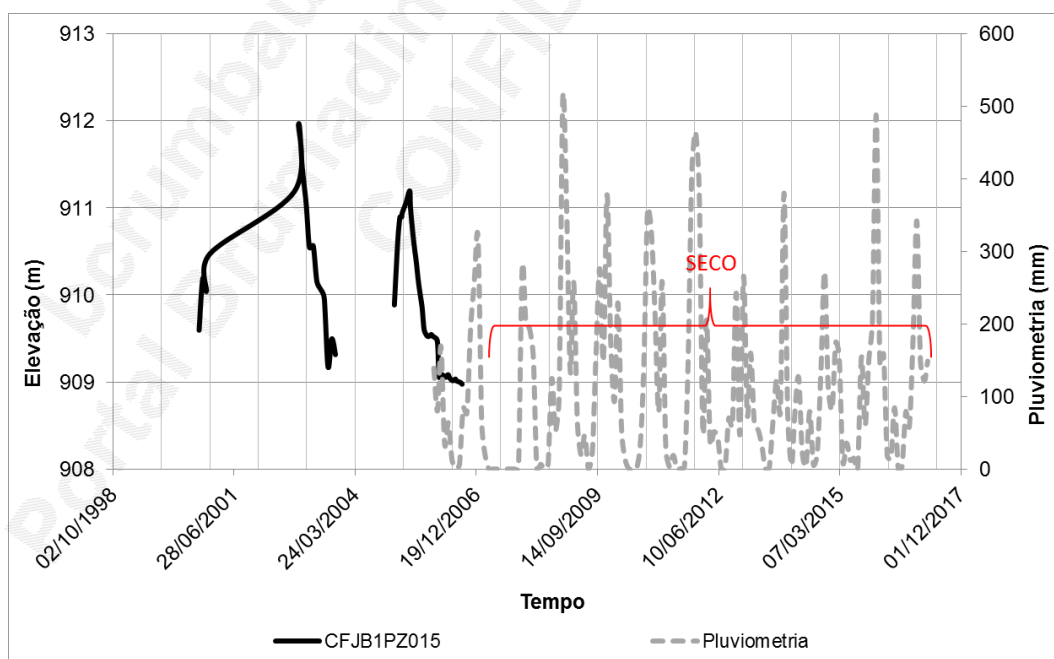


Medições do instrumento **CFJB1PZ013**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 197/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

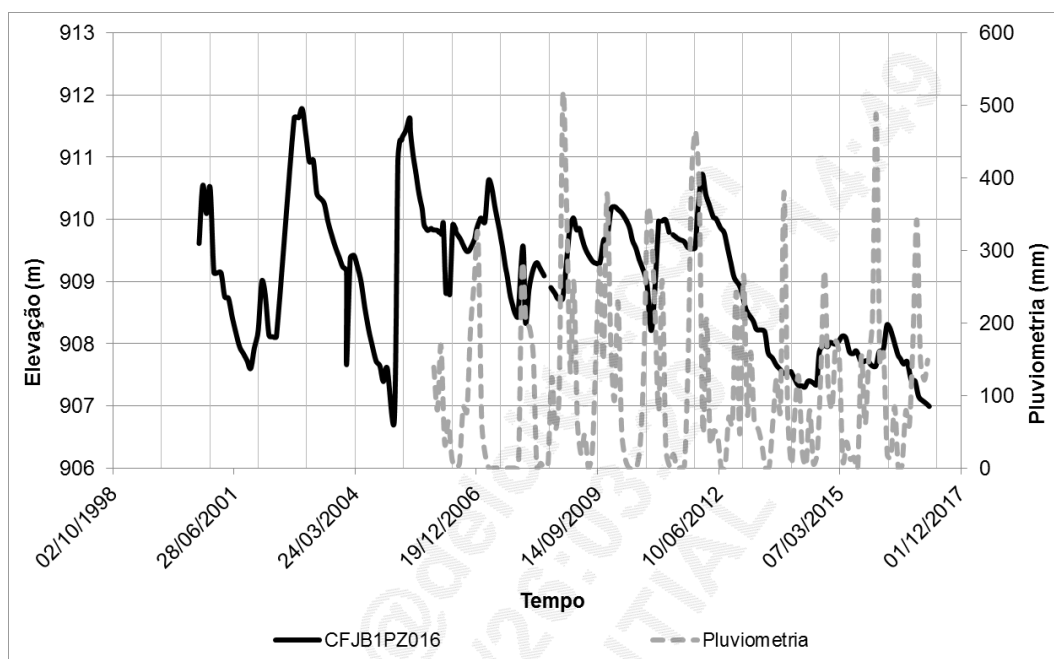


Medições do instrumento **CFJB1PZ014**. Fonte: Doc. [128].

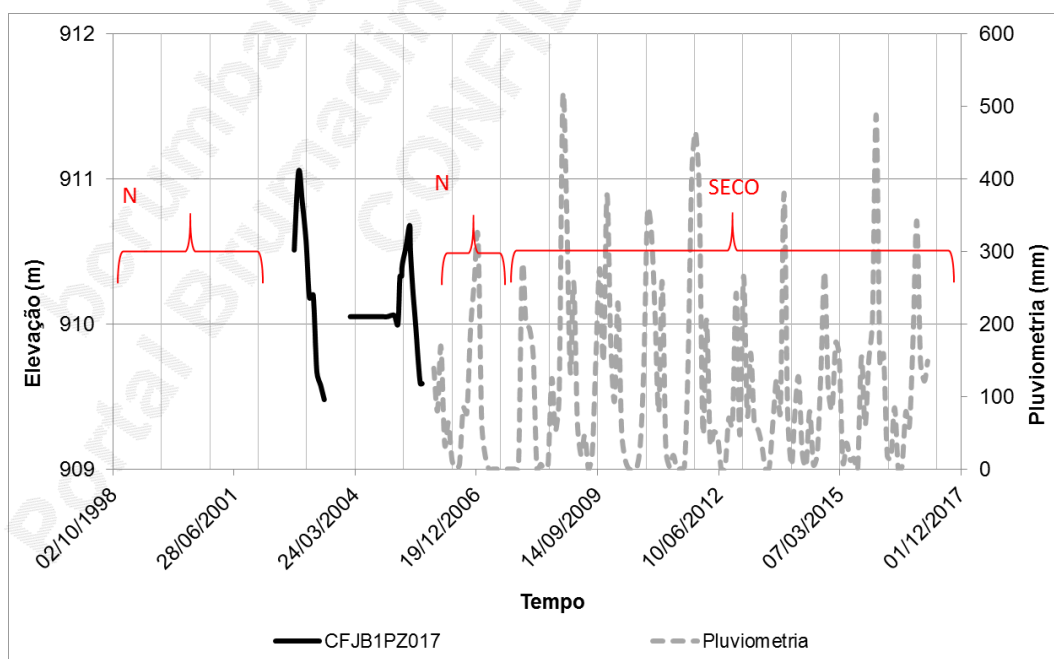


Medições do instrumento **CFJB1PZ015**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 198/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

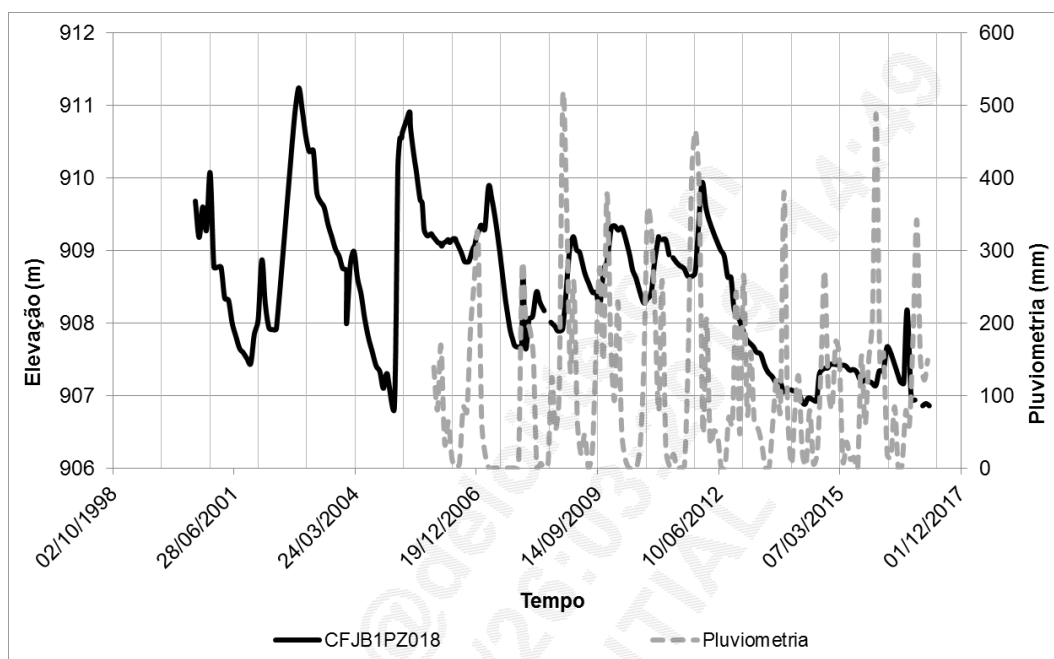


Medições do instrumento **CFJB1PZ016**. Fonte: Doc. [128].

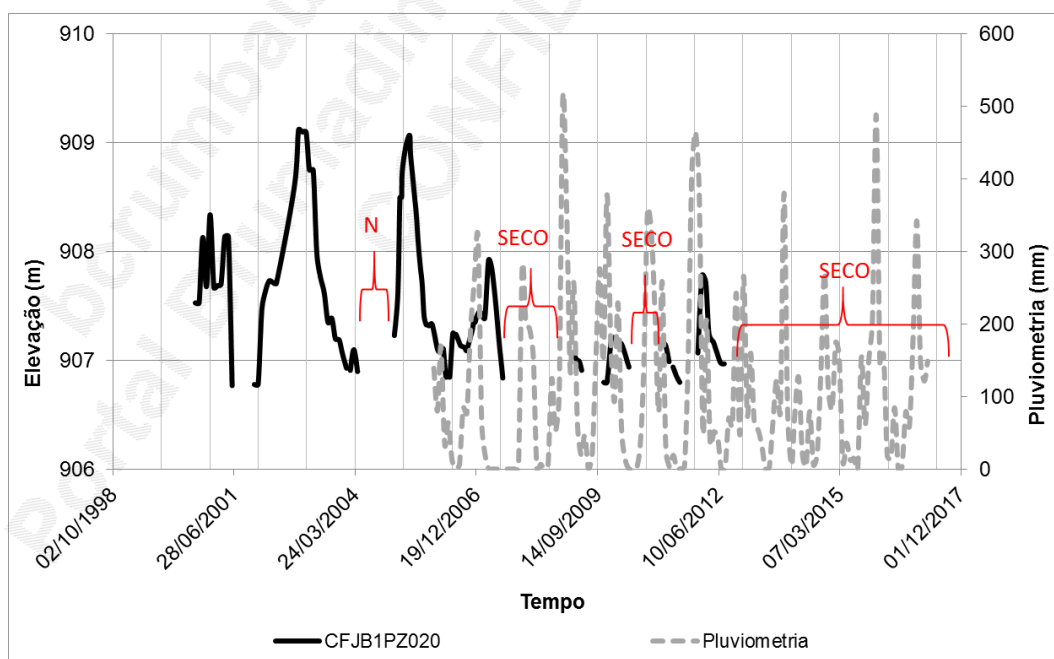


Medições do instrumento **CFJB1PZ017**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 199/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

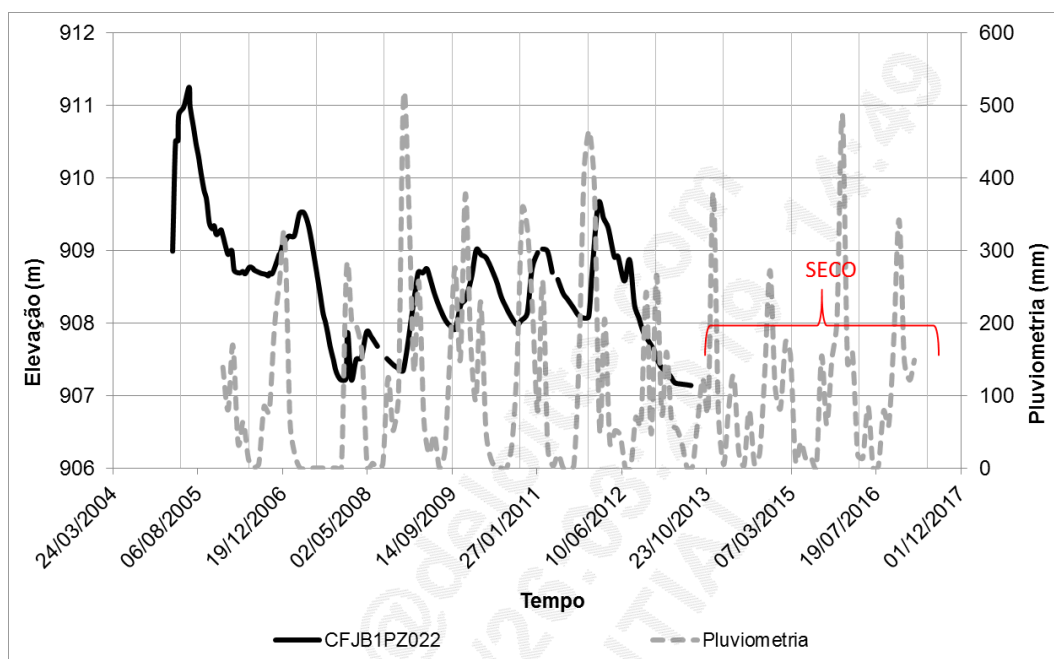


Medições do instrumento **CFJB1PZ018**. Fonte: Doc. [128].

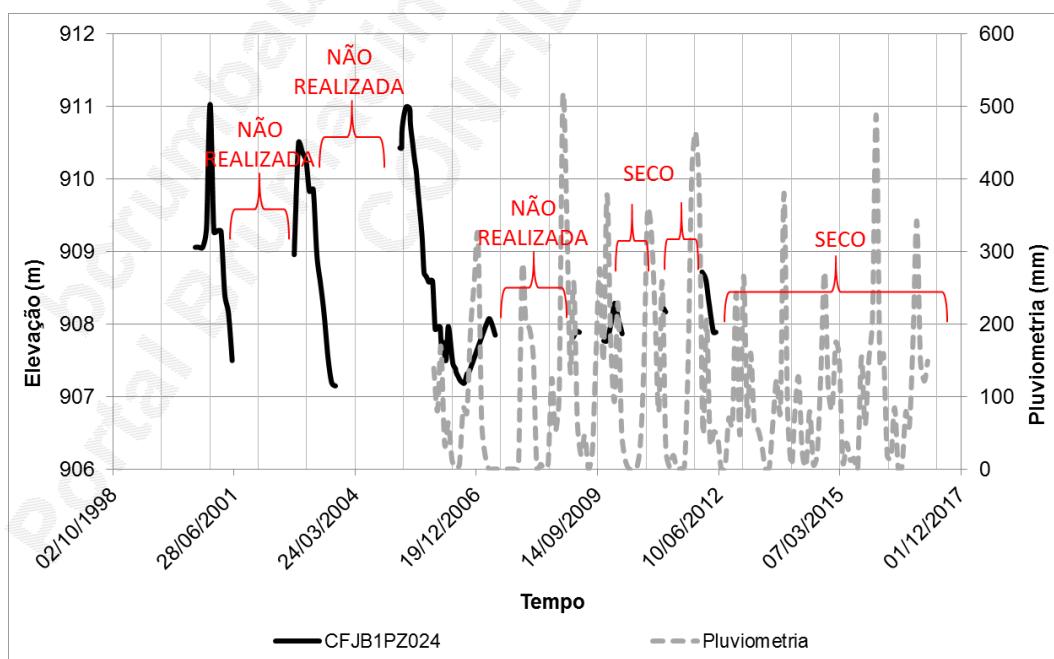


Medições do instrumento **CFJB1PZ020**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 200/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

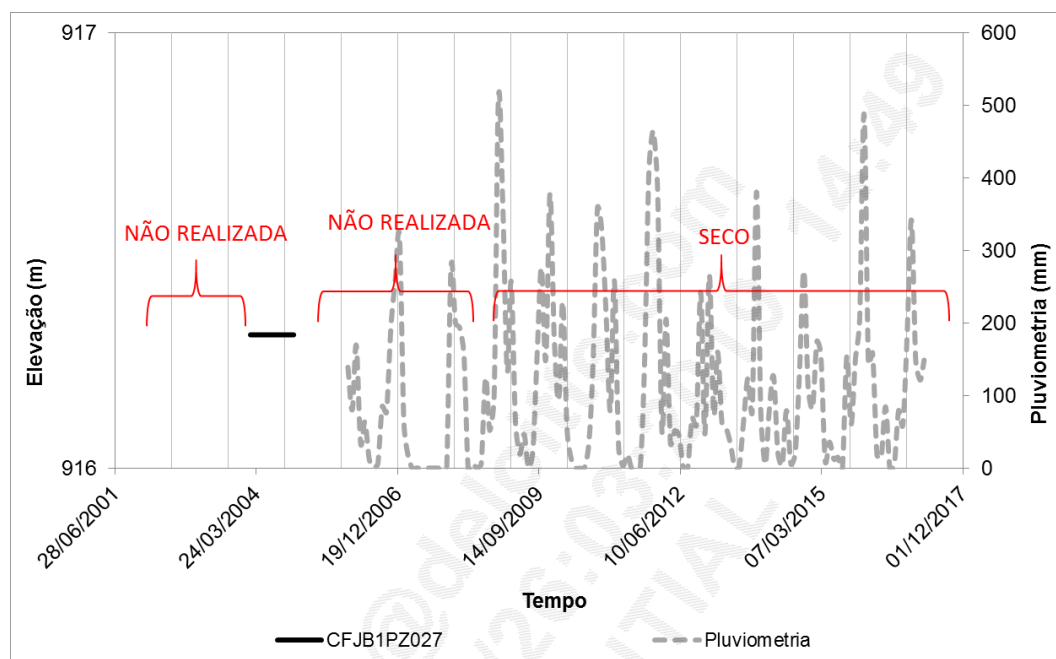


Medições do instrumento **CFJB1PZ22**. Fonte: Doc. [128].

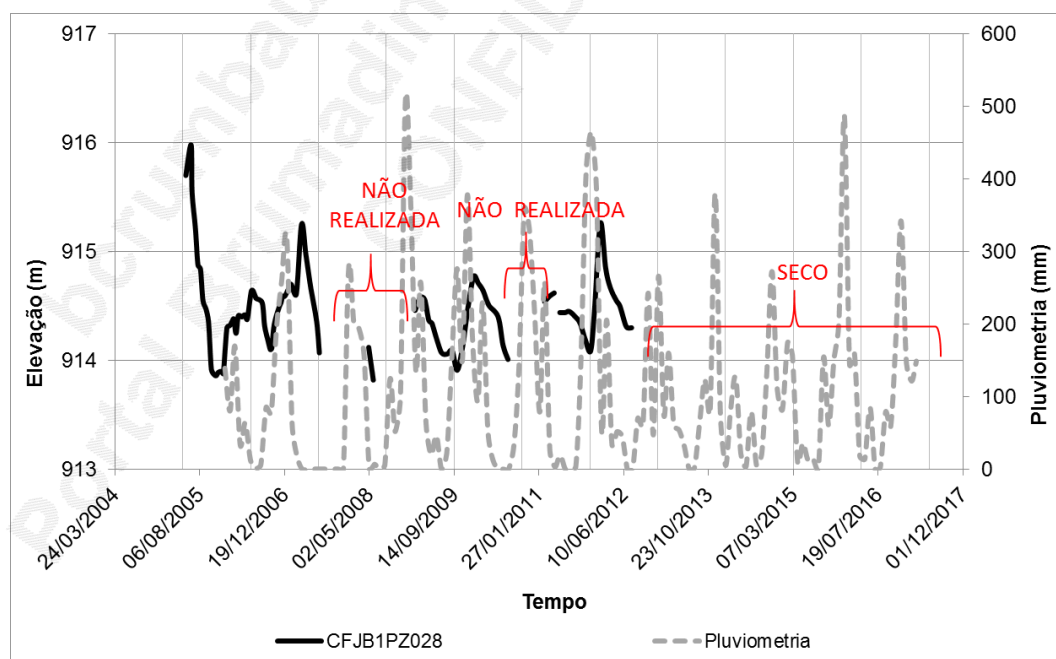


Medições do instrumento **CFJB1PZ24**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 201/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

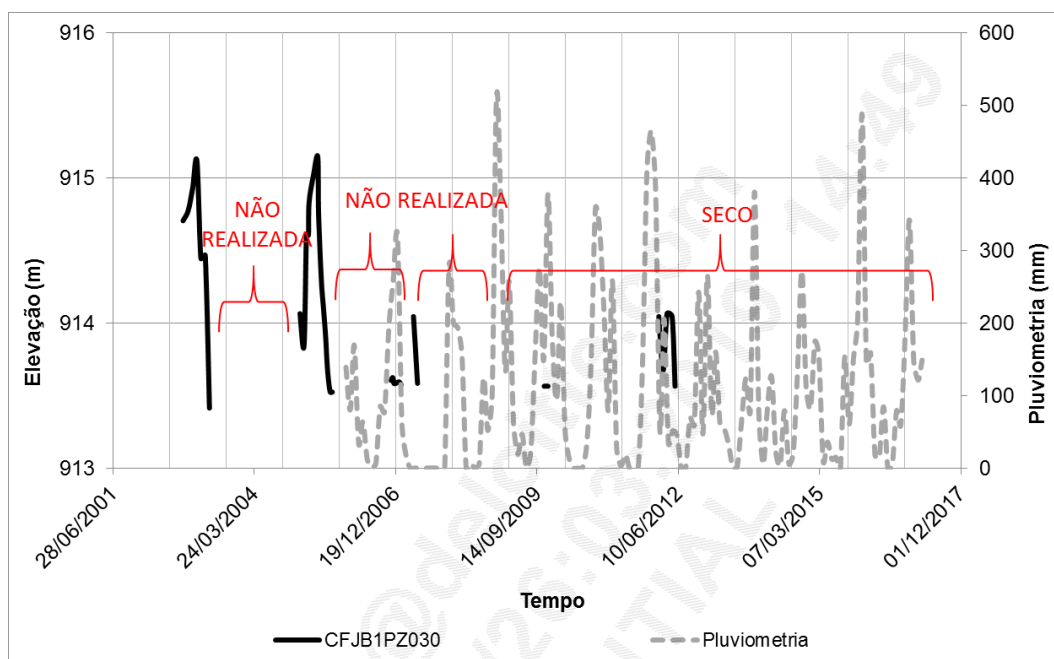


Medições do instrumento **CFJB1PZ027**. Fonte: Doc. [128].

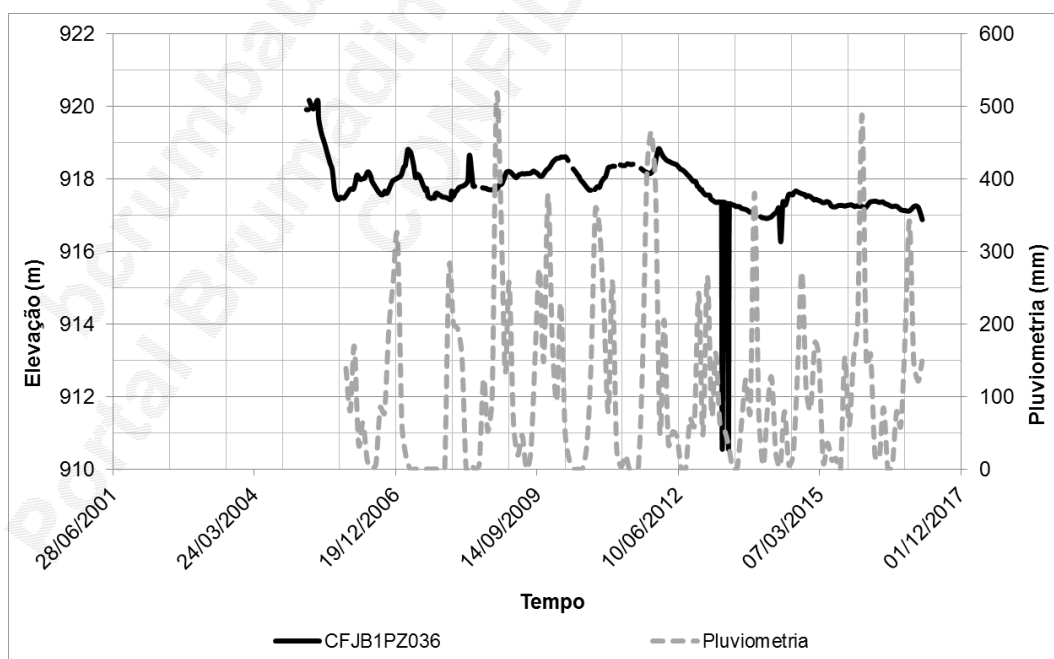


Medições do instrumento **CFJB1PZ028**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 202/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

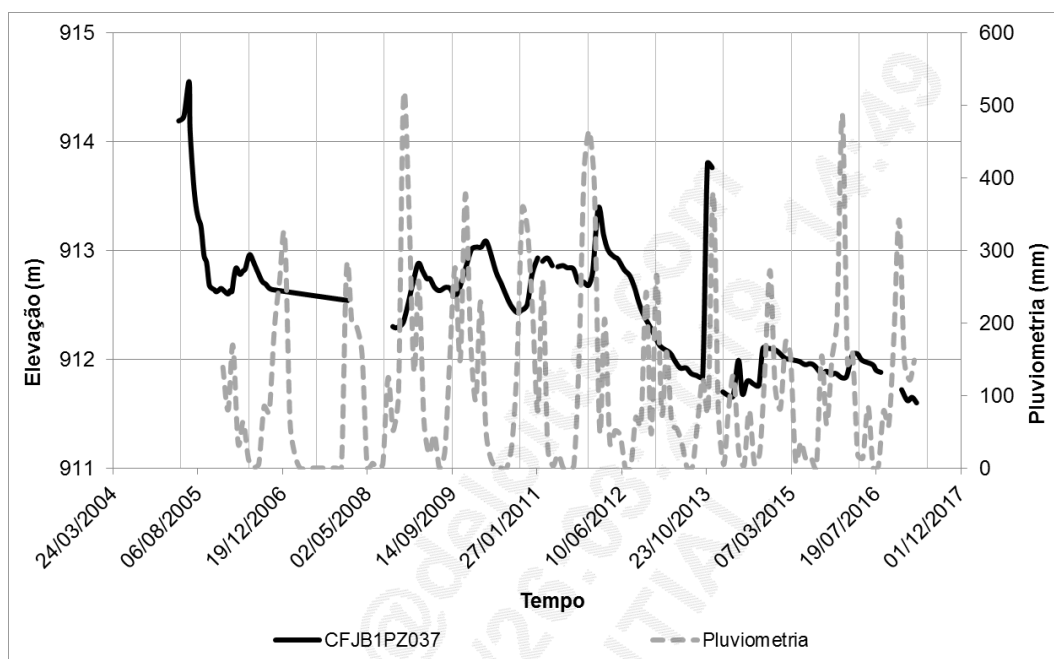


Medições do instrumento **CFJB1PZ030**. Fonte: Doc. [128].

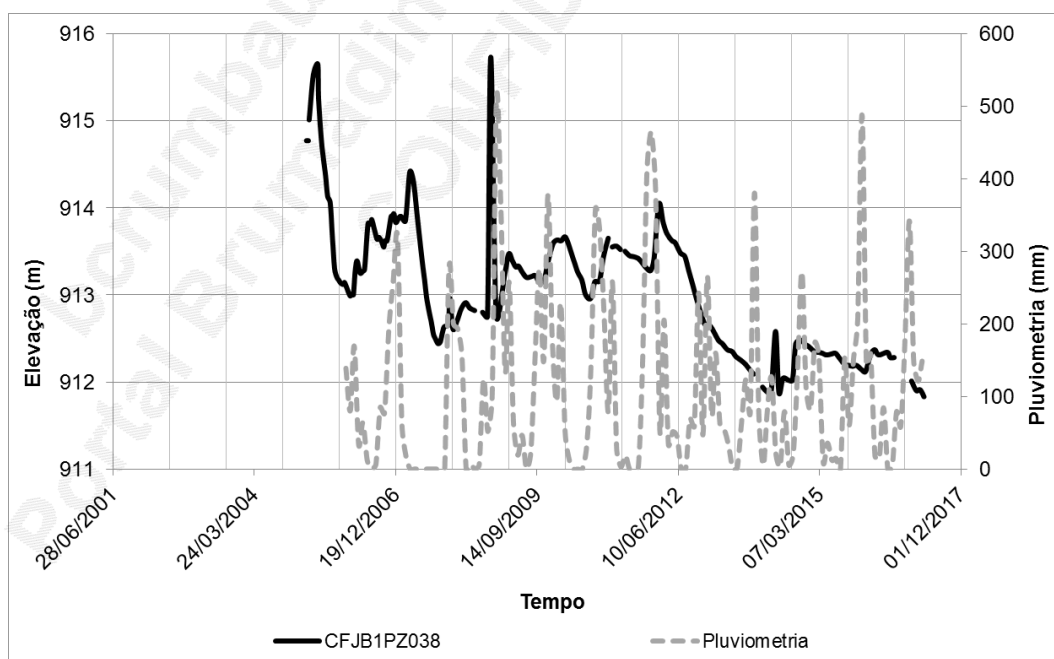


Medições do instrumento **CFJB1PZ036**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 203/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

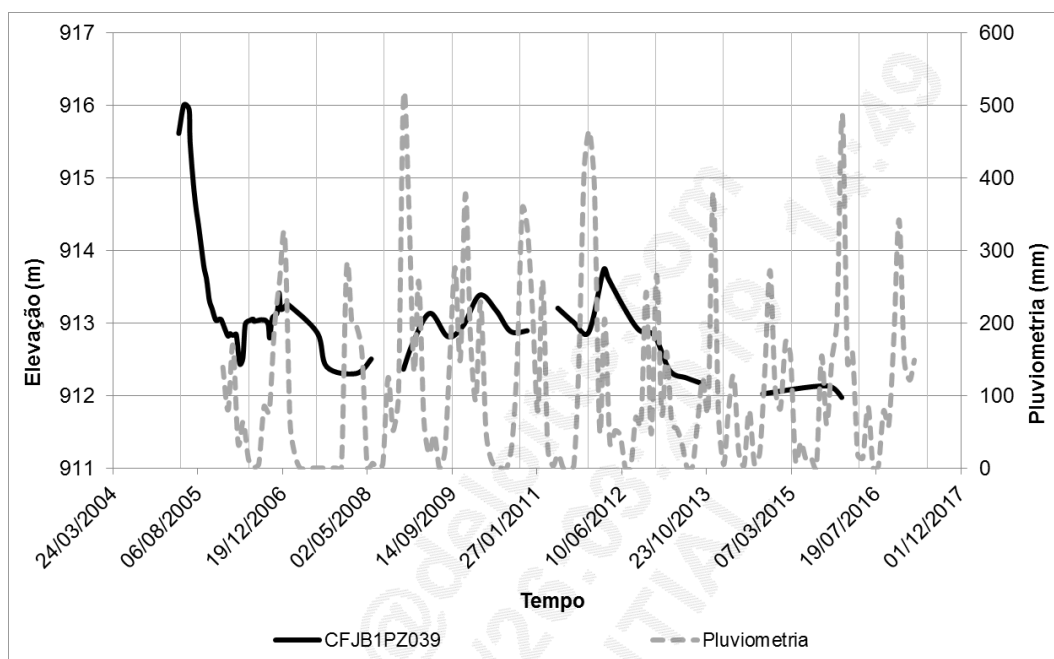


Medições do instrumento **CFJB1PZ037**. Fonte: Doc. [128].

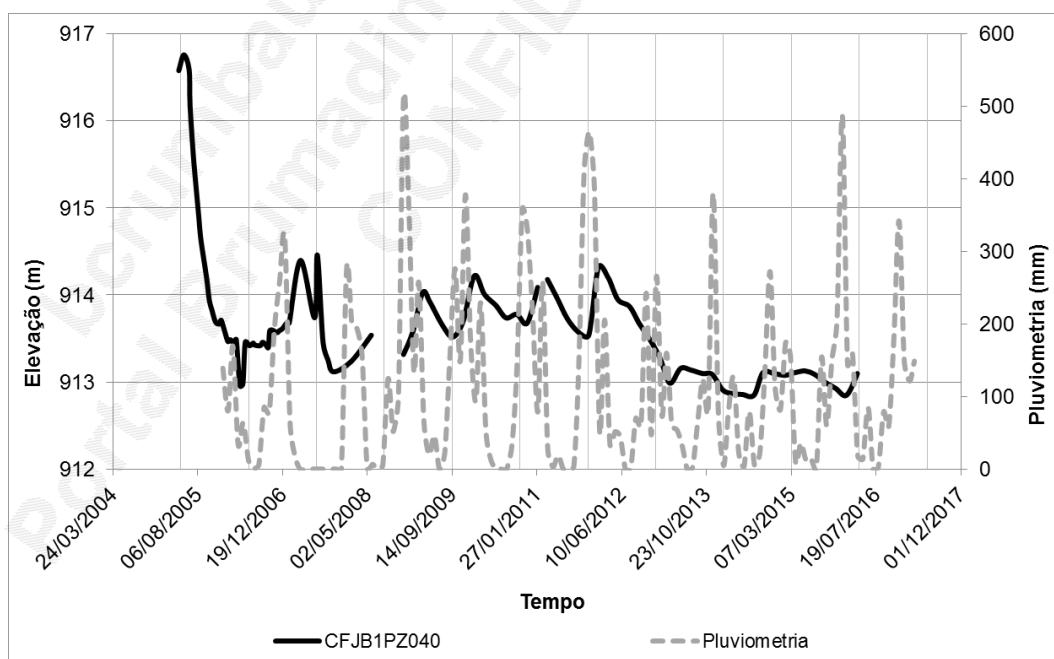


Medições do instrumento **CFJB1PZ038**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 204/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

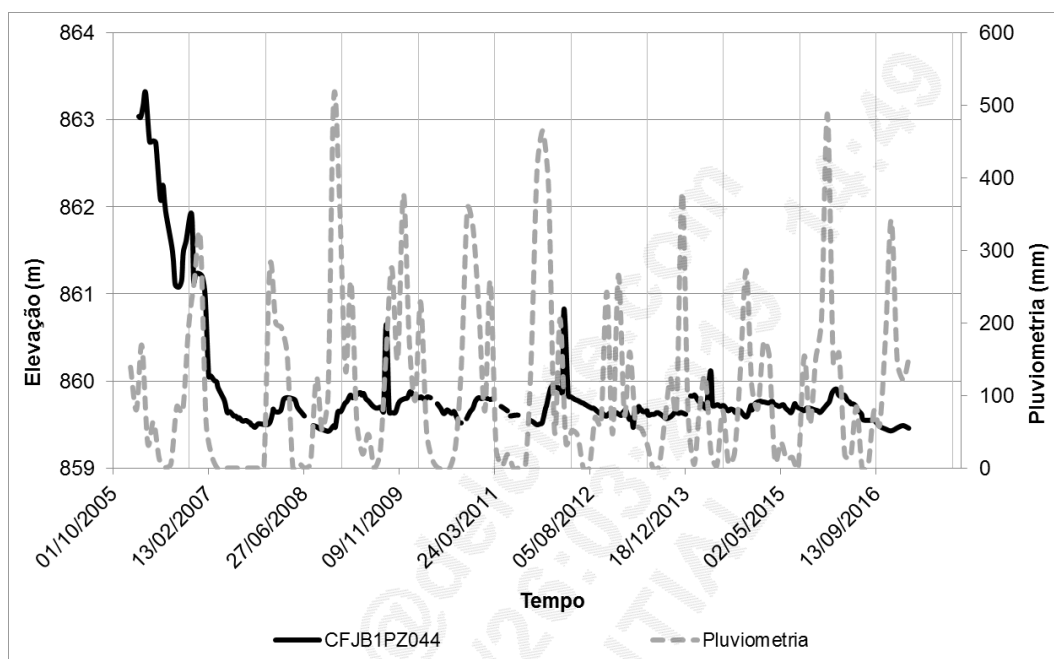


Medições do instrumento **CFJB1PZ039**. Fonte: Doc. [128].

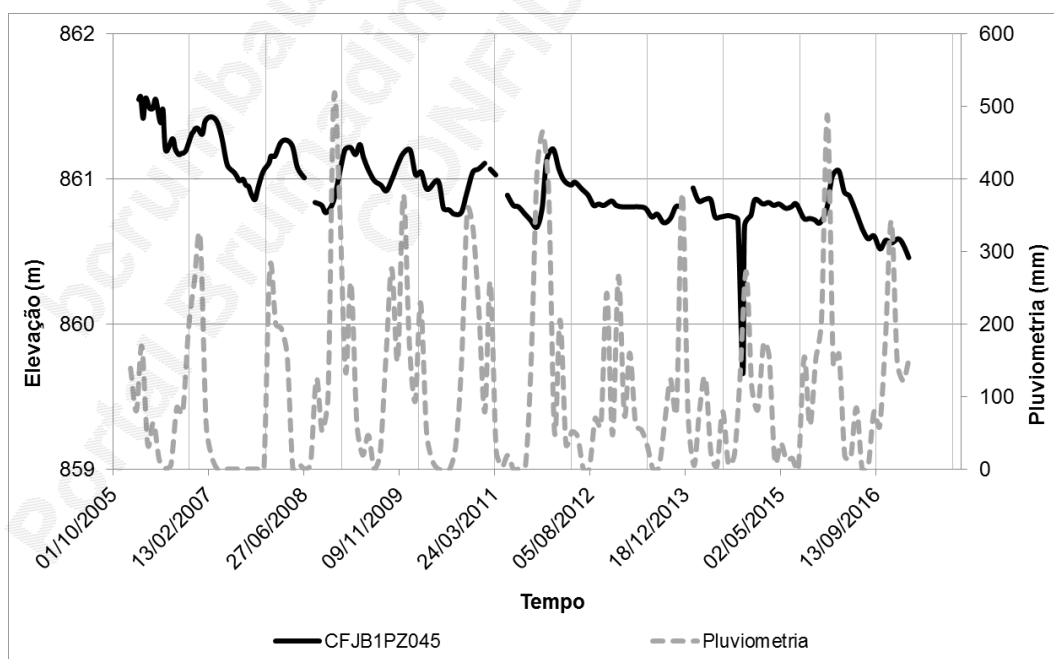


Medições do instrumento **CFJB1PZ040**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 205/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

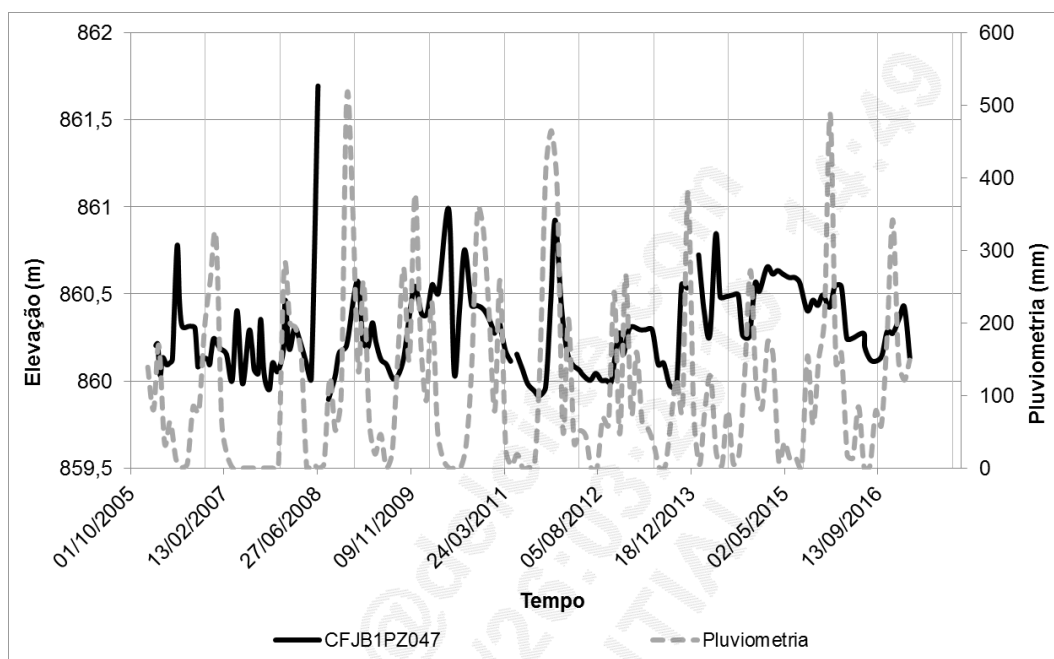


Medições do instrumento **CFJB1PZ044**. Fonte: Doc. [128].

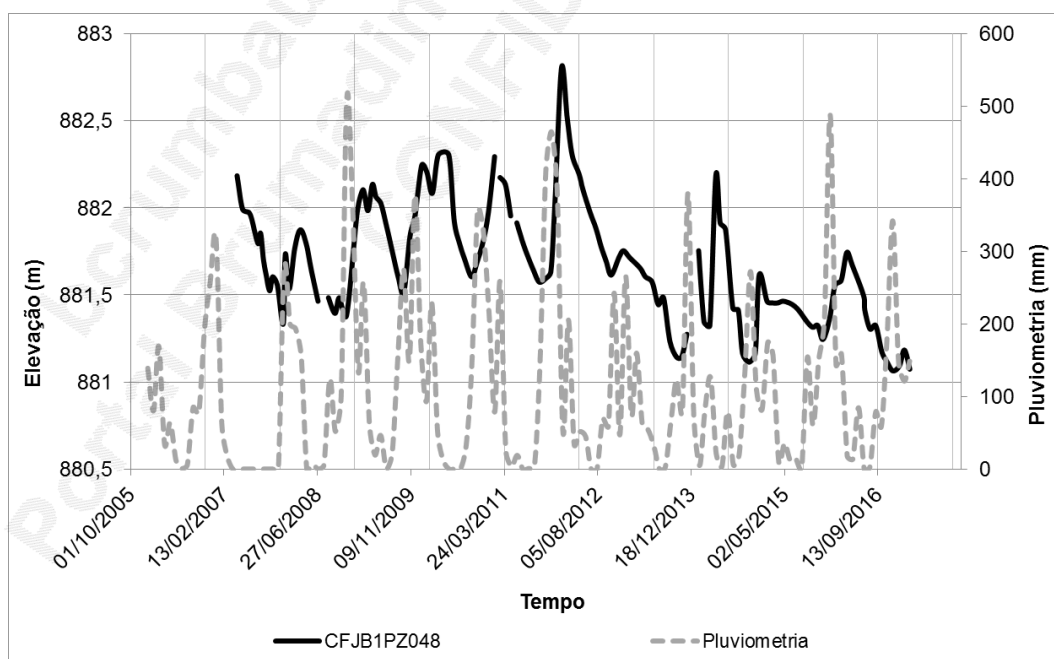


Medições do instrumento **CFJB1PZ045**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 206/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

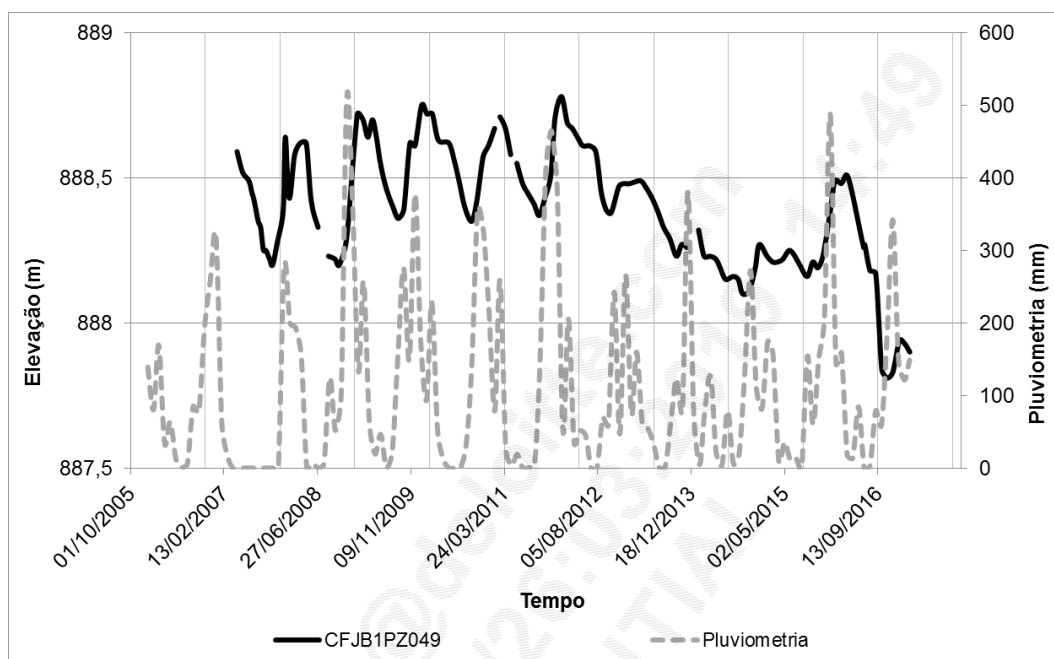


Medições do instrumento **CFJB1PZ047**. Fonte: Doc. [128].

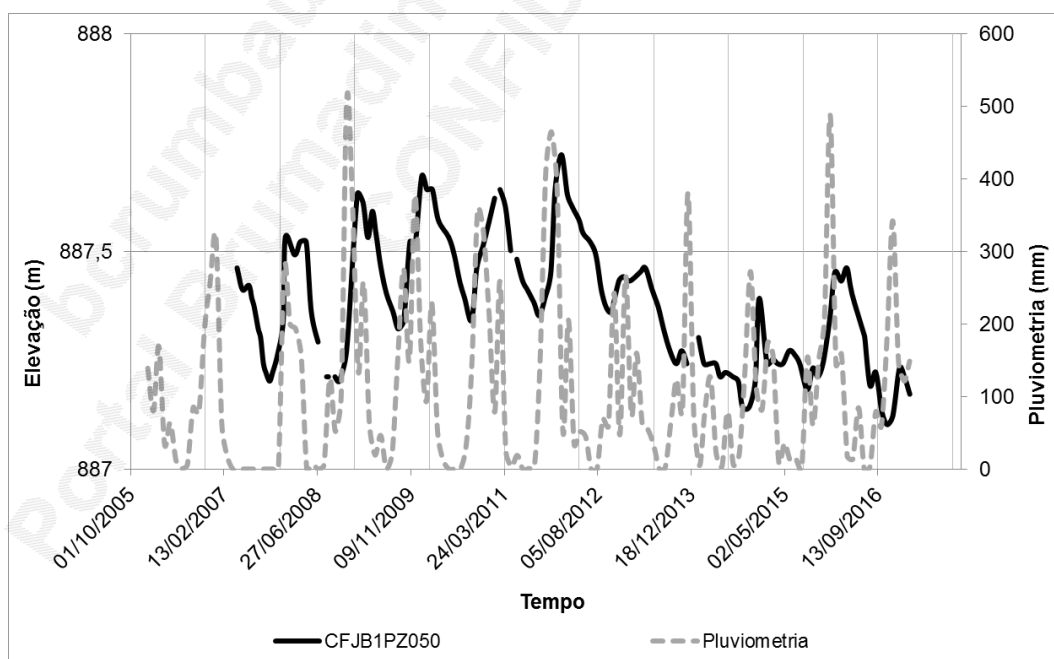


Medições do instrumento **CFJB1PZ048**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 207/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

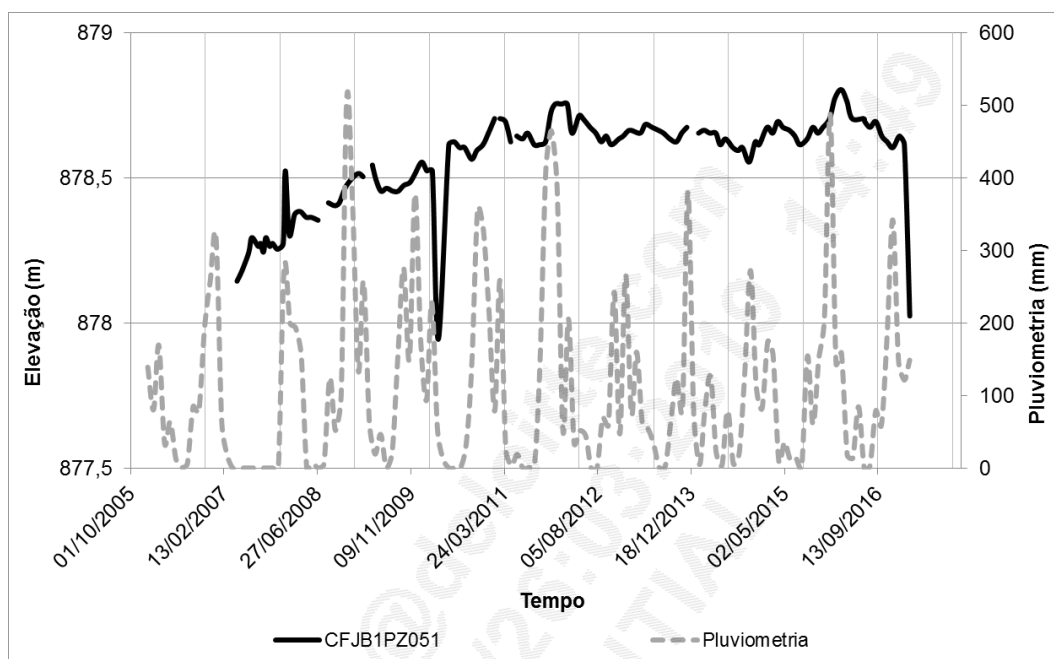


Medições do instrumento **CFJB1PZ049**. Fonte: Doc. [128].

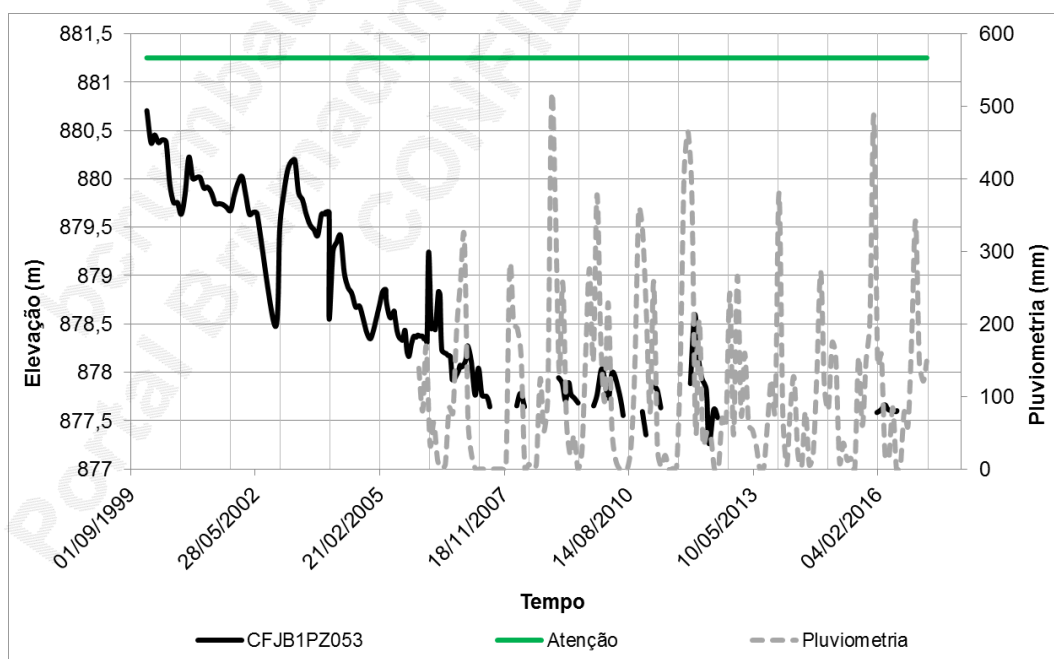


Medições do instrumento **CFJB1PZ050**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 208/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

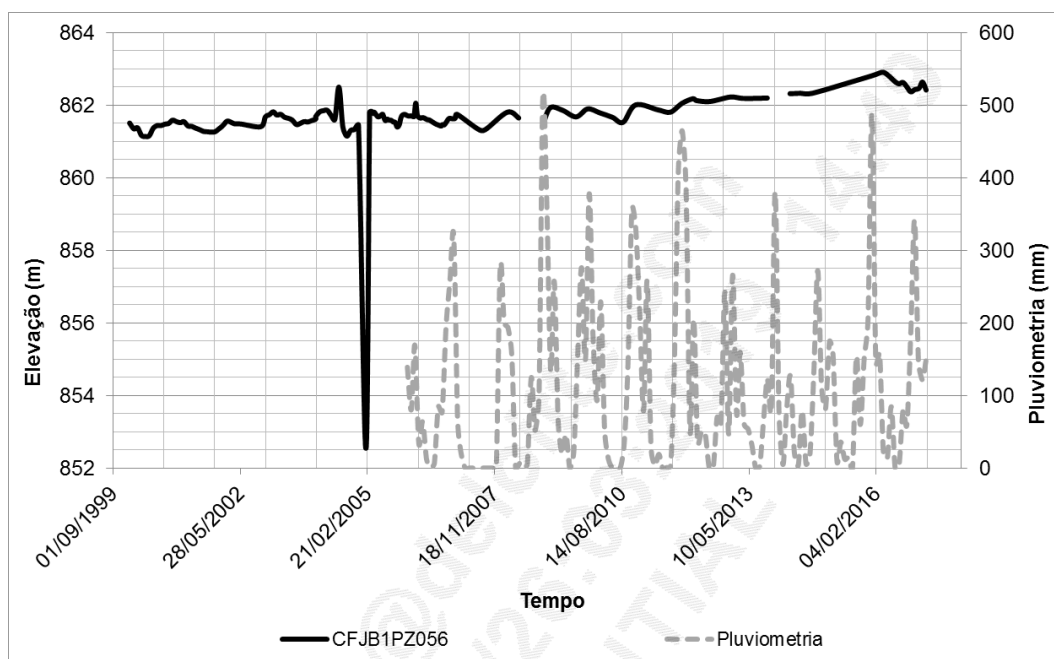


Medições do instrumento **CFJB1PZ051**. Fonte: Doc. [128].

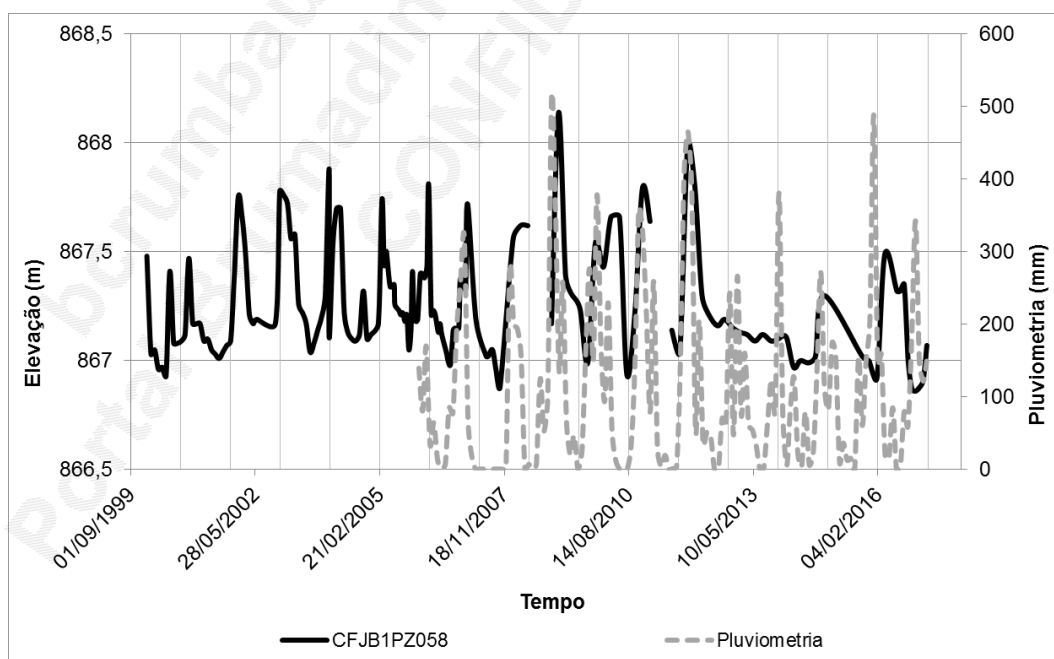


Medições do instrumento **CFJB1PZ053**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 209/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

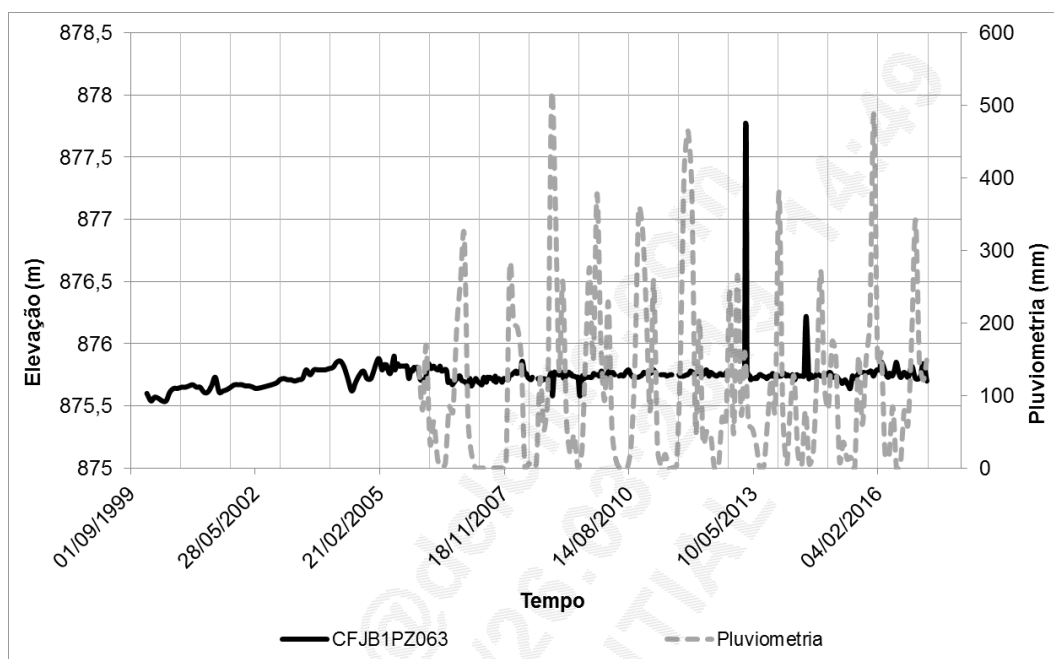


Medições do instrumento **CFJB1PZ056**. Fonte: Doc. [128].

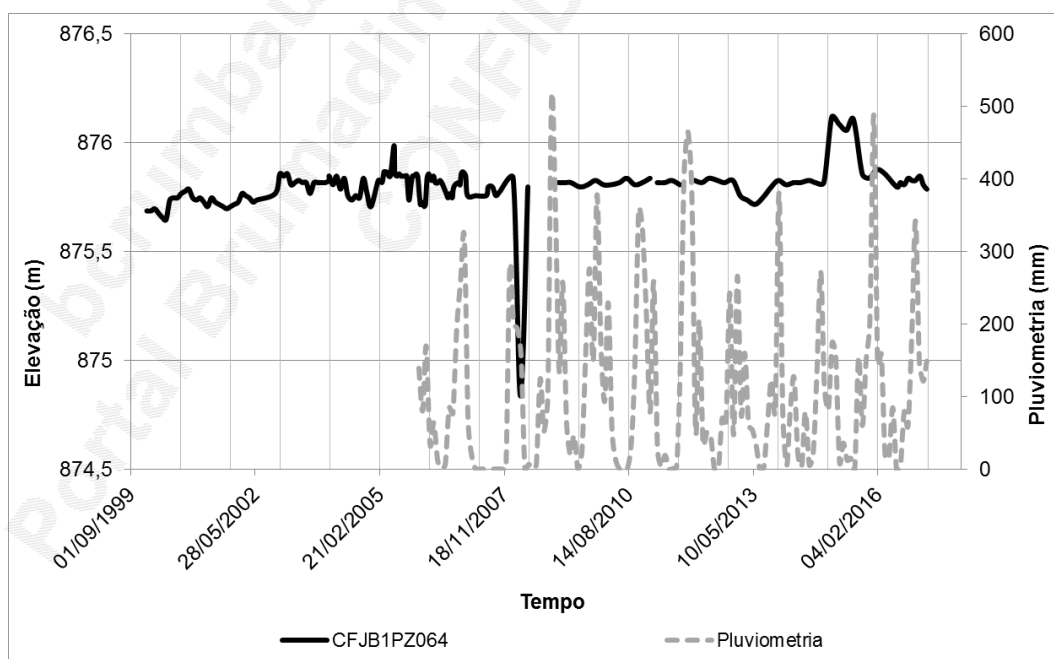


Medições do instrumento **CFJB1PZ058**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 210/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

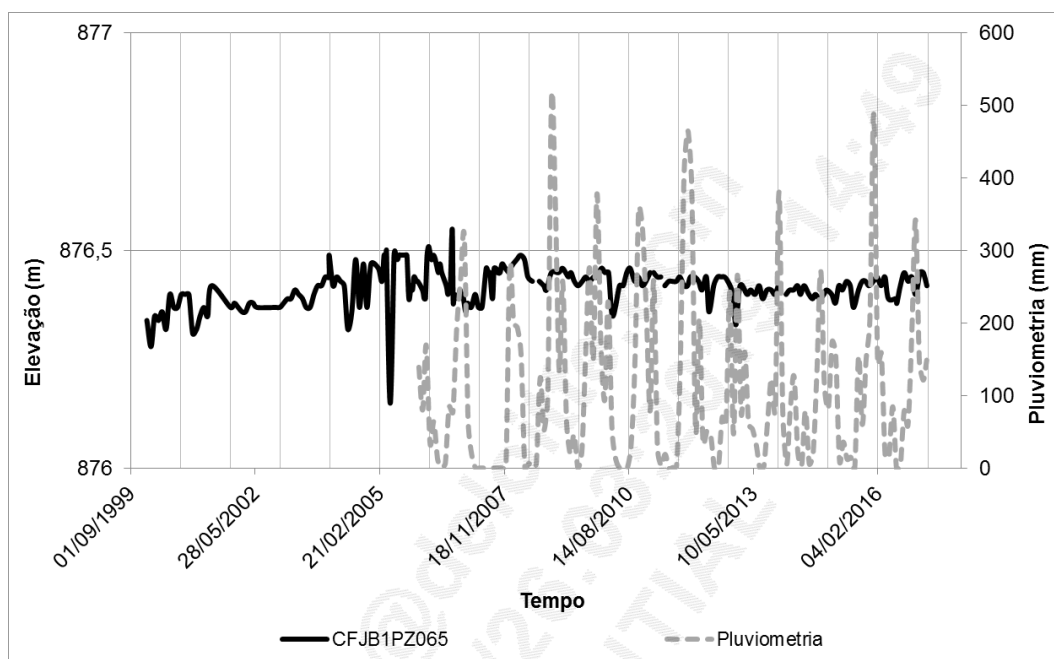


Medições do instrumento **CFJB1PZ063**. Fonte: Doc. [128].

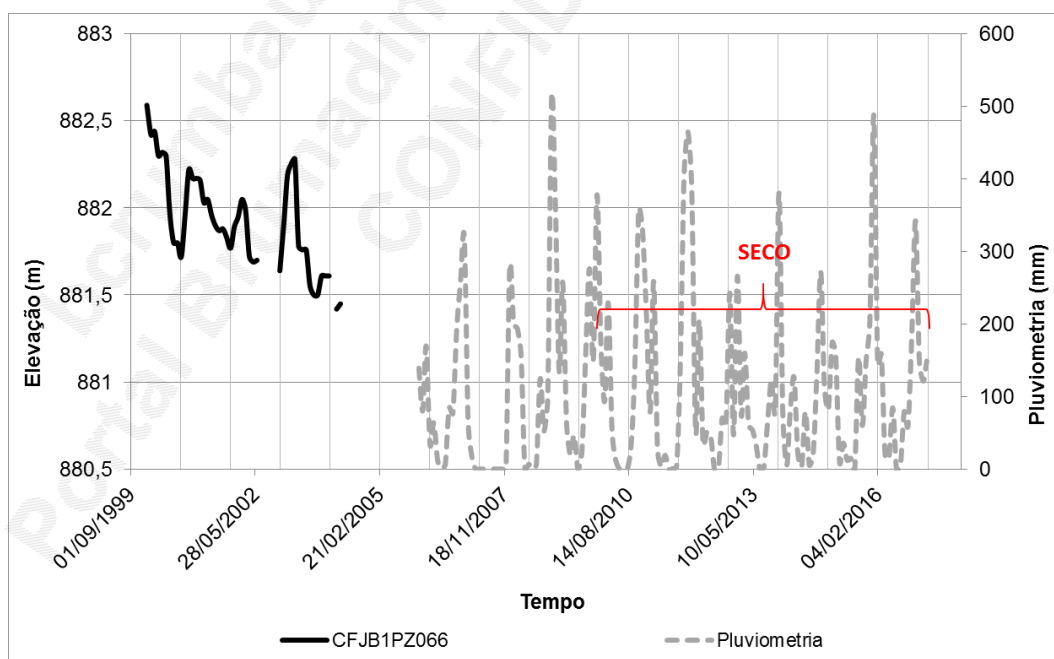


Medições do instrumento **CFJB1PZ064**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 211/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

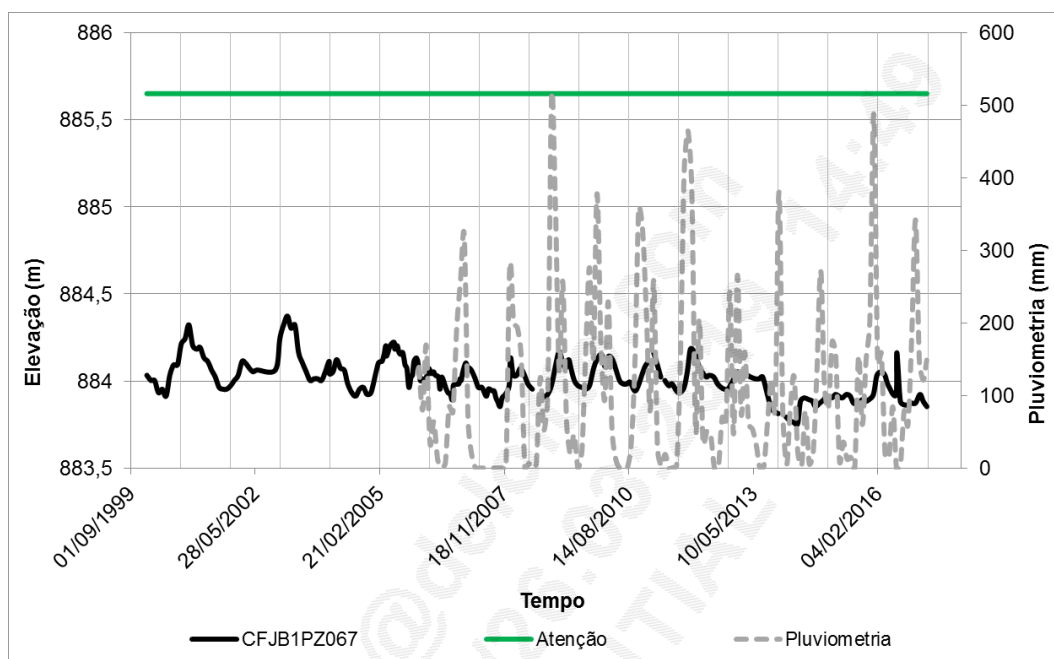


Medições do instrumento **CFJB1PZ065**. Fonte: Doc. [128].

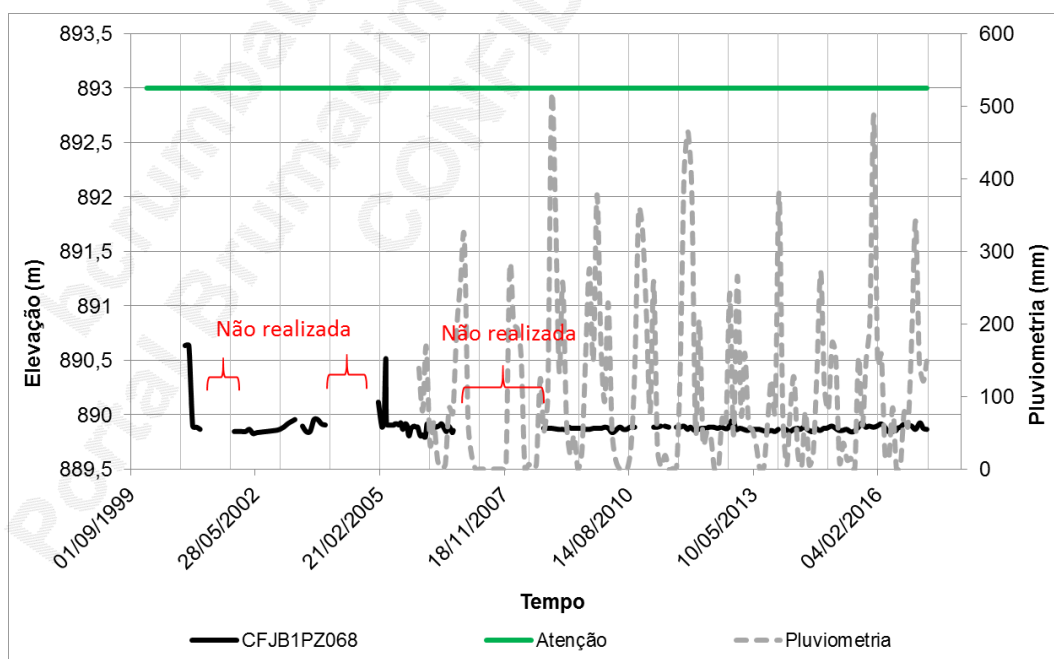


Medições do instrumento **CFJB1PZ066**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 212/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

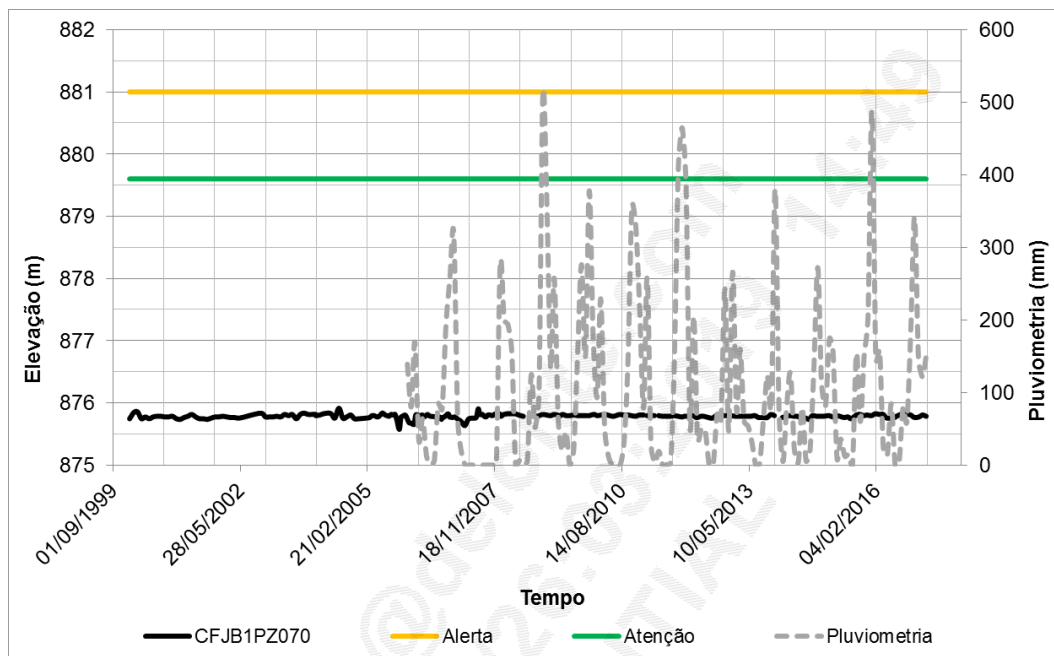


Medições do instrumento **CFJB1PZ067**. Fonte: Doc. [128].

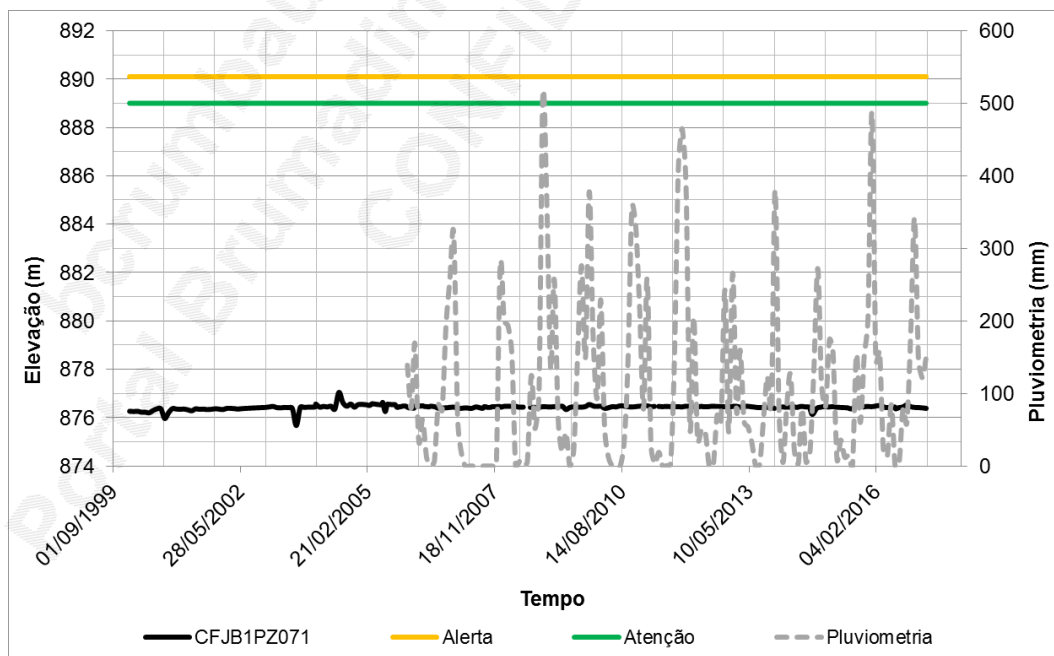


Medições do instrumento **CFJB1PZ068**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 213/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

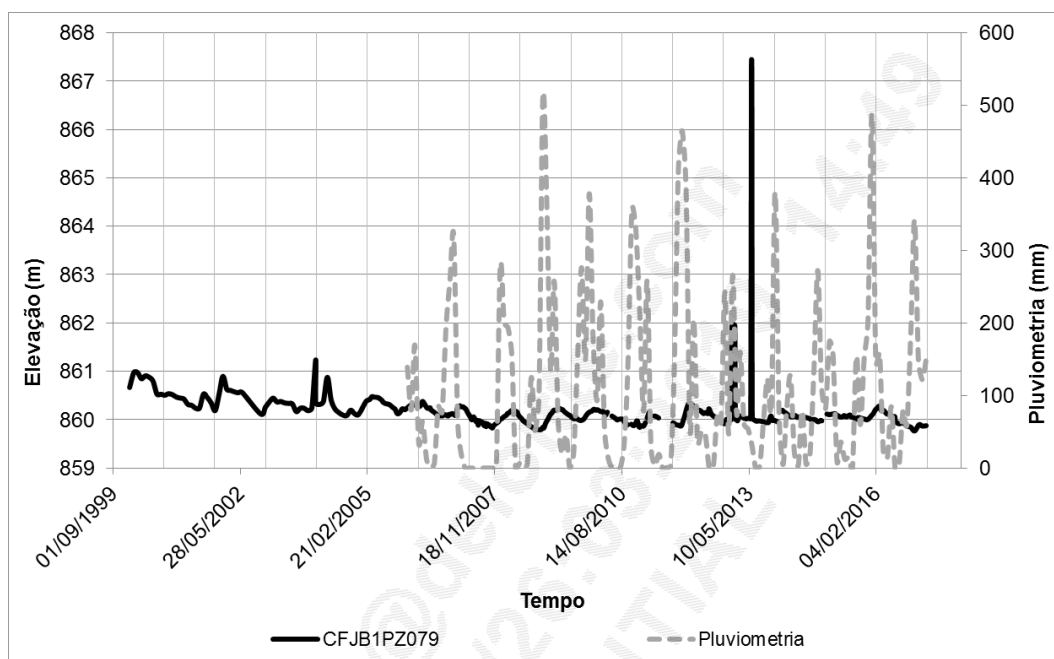


Medições do instrumento **CFJB1PZ070**. Fonte: Doc. [128].

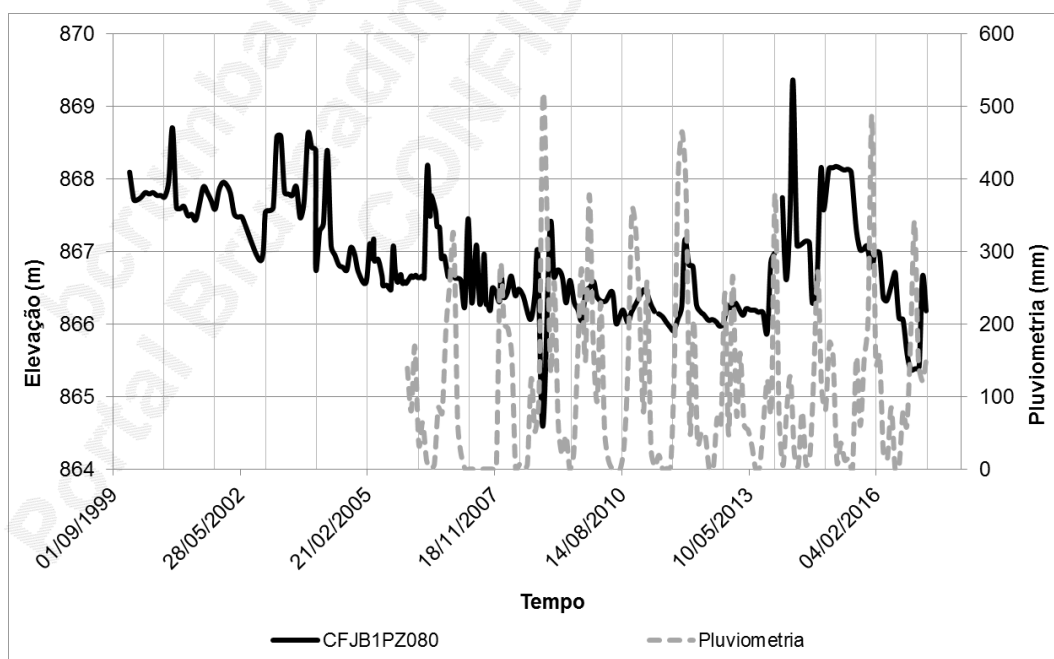


Medições do instrumento **CFJB1PZ071**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 214/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

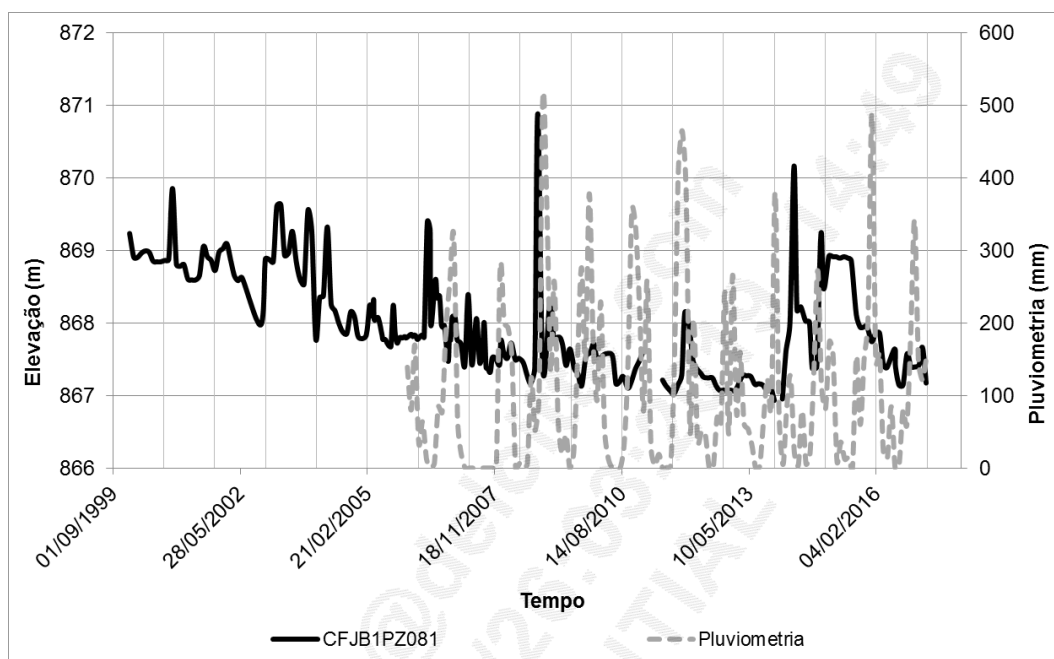


Medições do instrumento **CFJB1PZ079**. Fonte: Doc. [128].

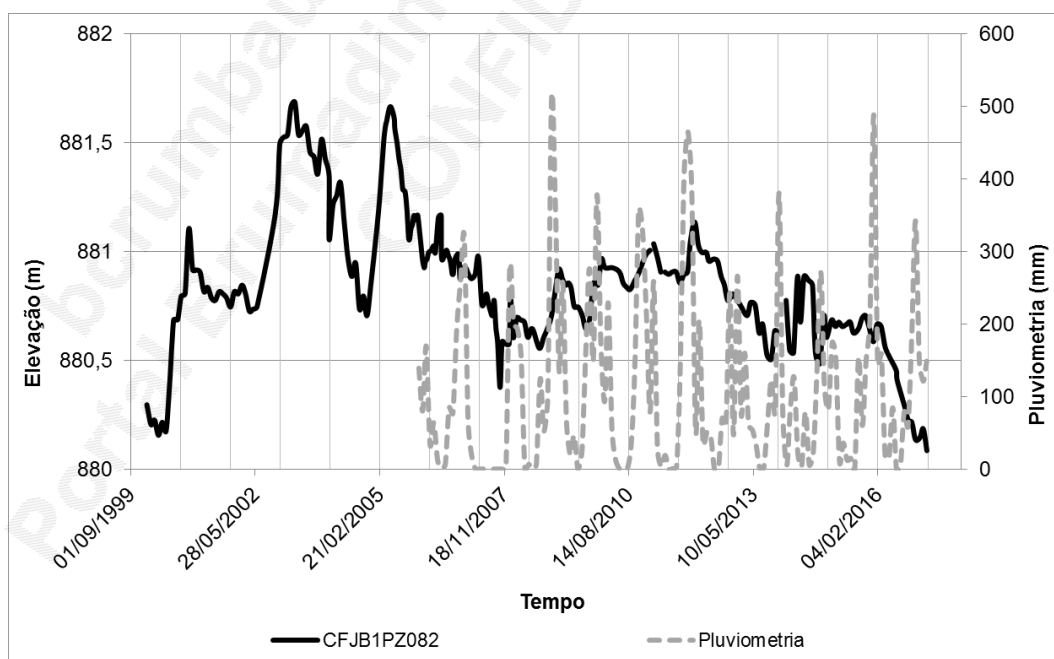


Medições do instrumento **CFJB1PZ080**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 215/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

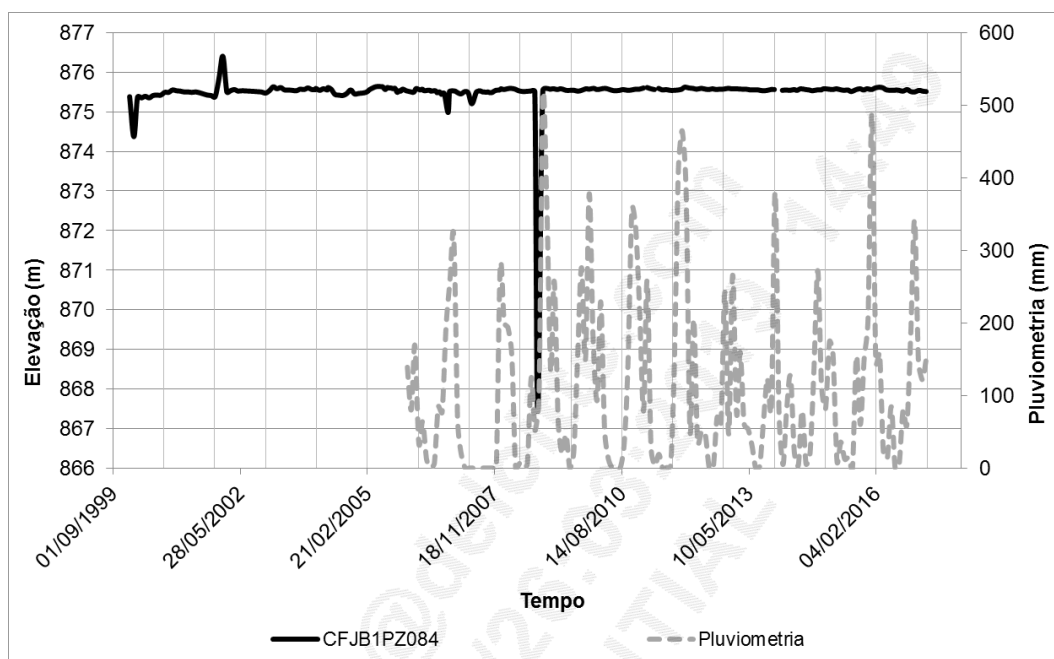


Medições do instrumento **CFJB1PZ081**. Fonte: Doc. [128].

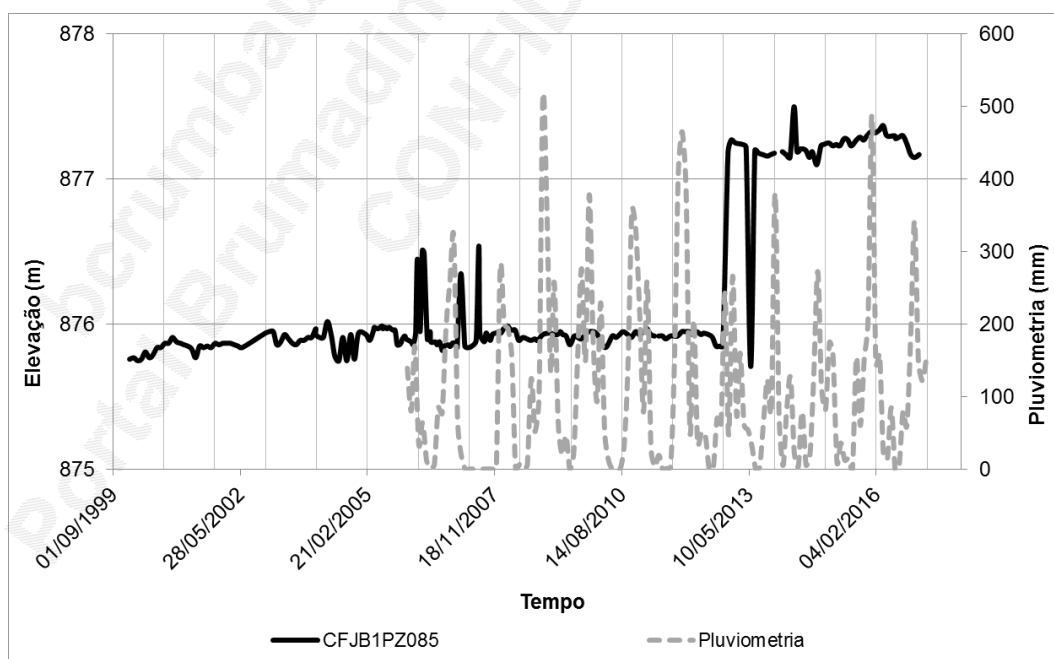


Medições do instrumento **CFJB1PZ082**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 216/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

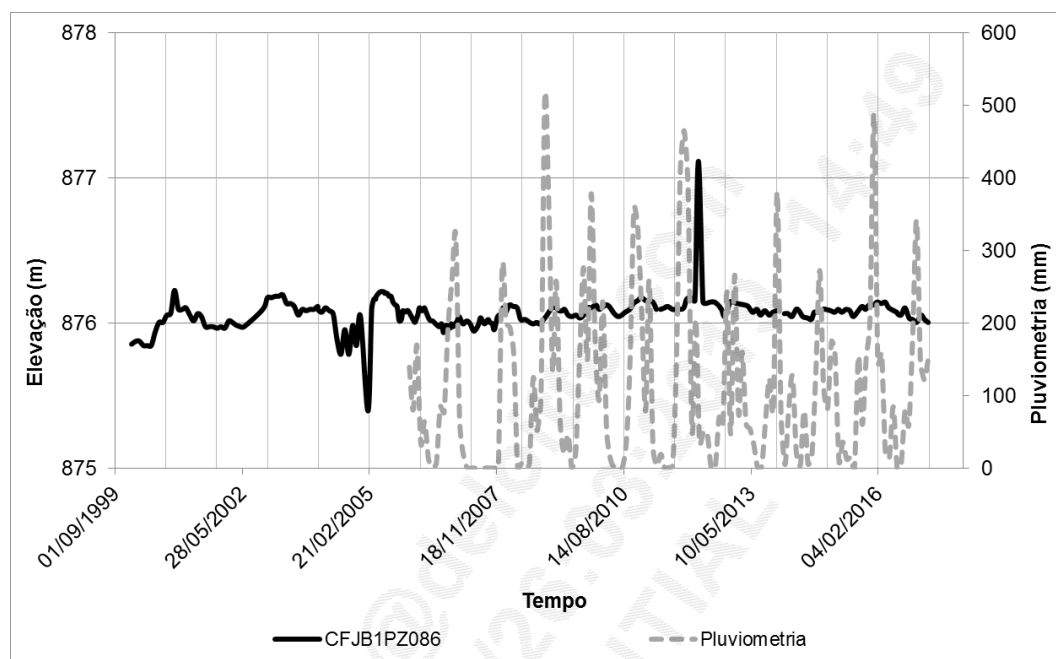


Medições do instrumento **CFJB1PZ084**. Fonte: Doc. [128].

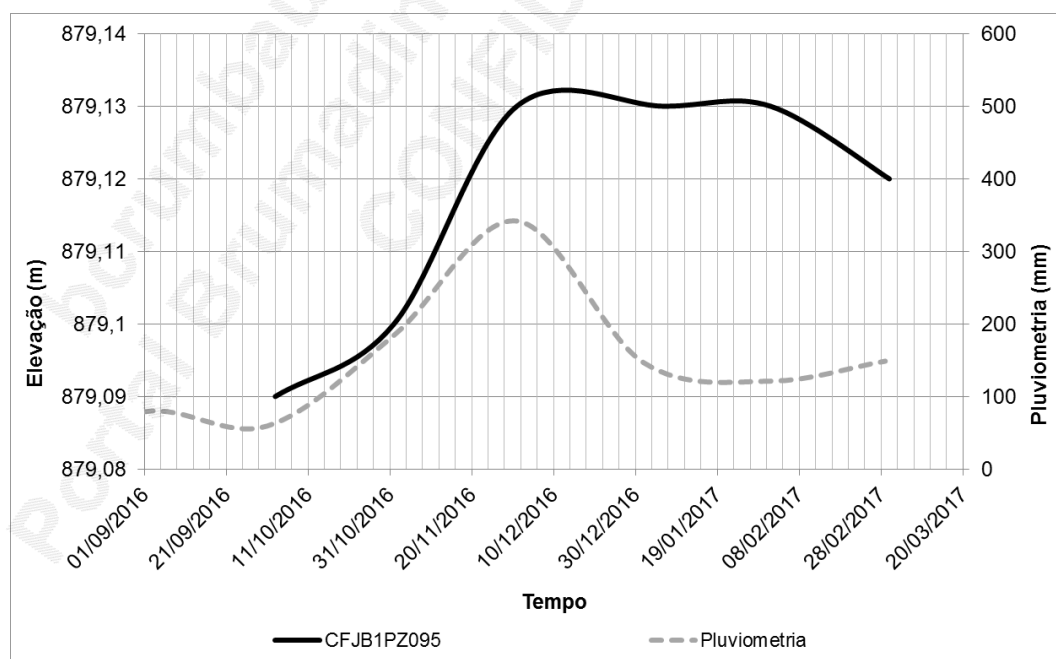


Medições do instrumento **CFJB1PZ085**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 217/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

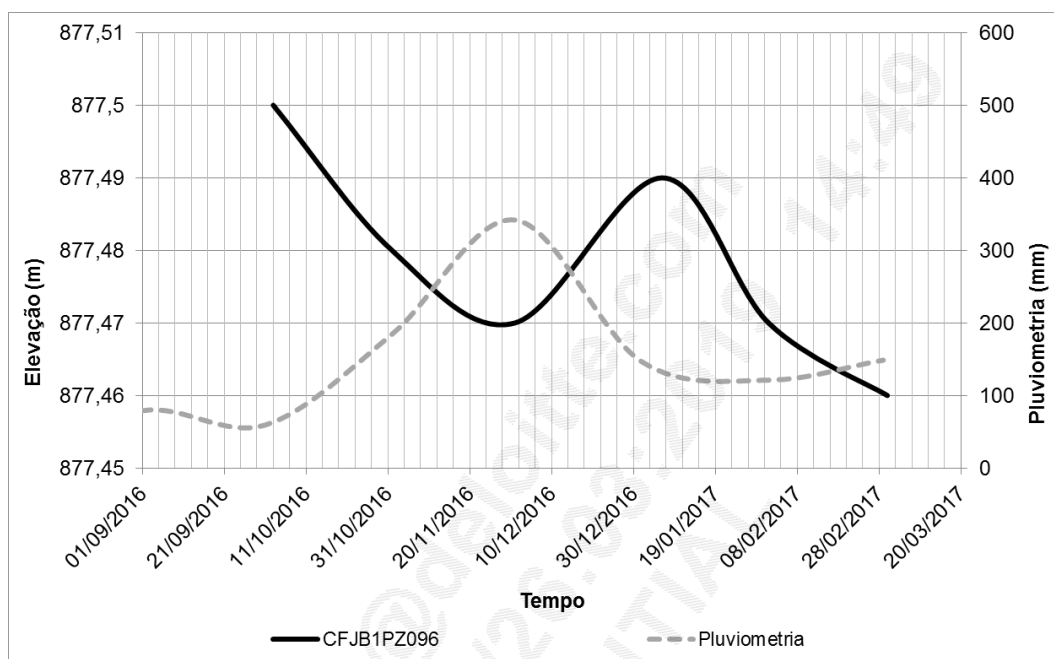


Medições do instrumento **CFJB1PZ086**. Fonte: Doc. [128].

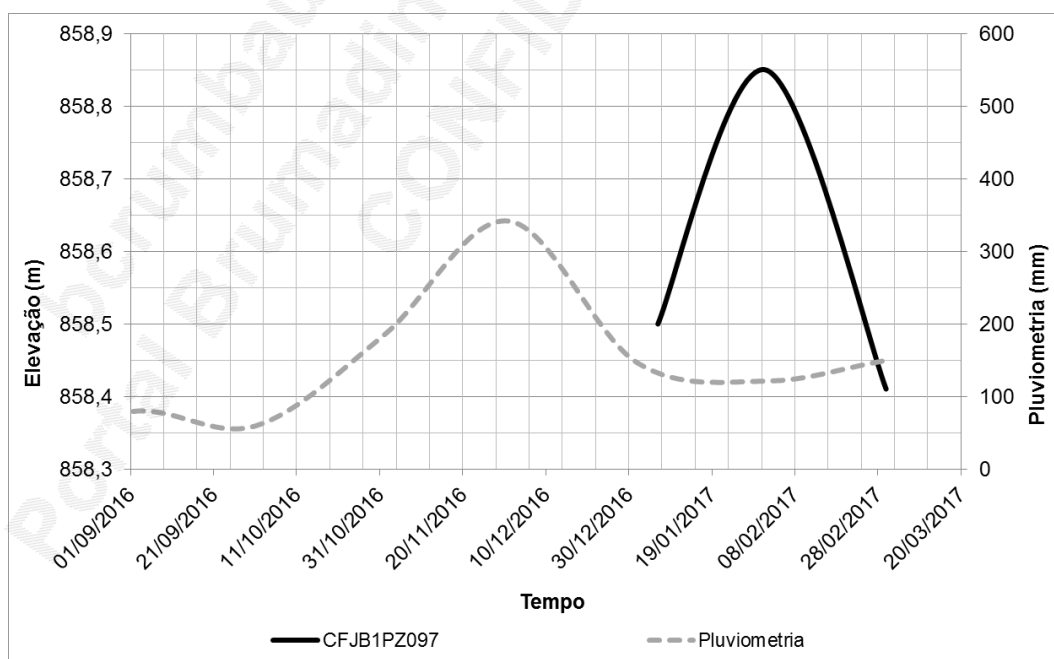


Medições do instrumento **CFJB1PZ095**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 218/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

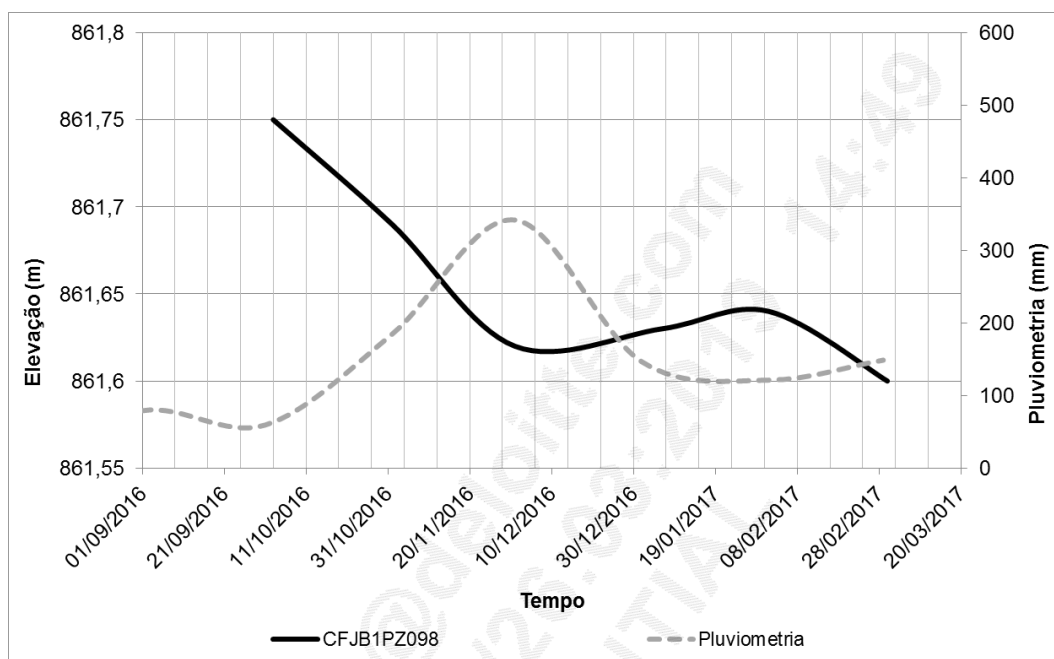


Medições do instrumento **CFJB1PZ096**. Fonte: Doc. [128].

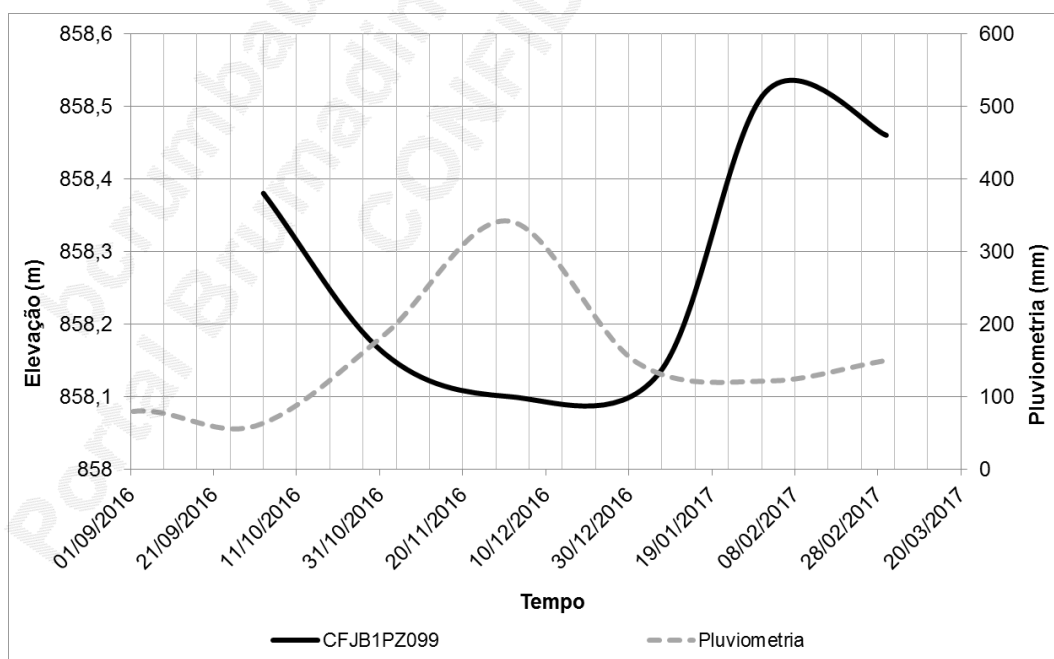


Medições do instrumento **CFJB1PZ097**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 219/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

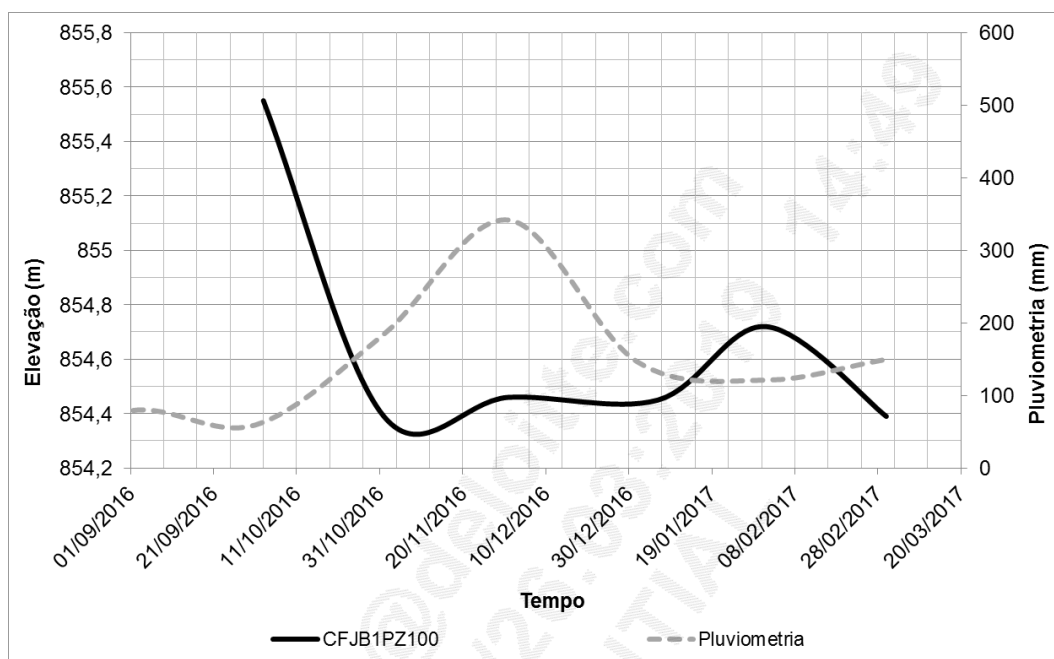


Medições do instrumento **CFJB1PZ098**. Fonte: Doc. [128].

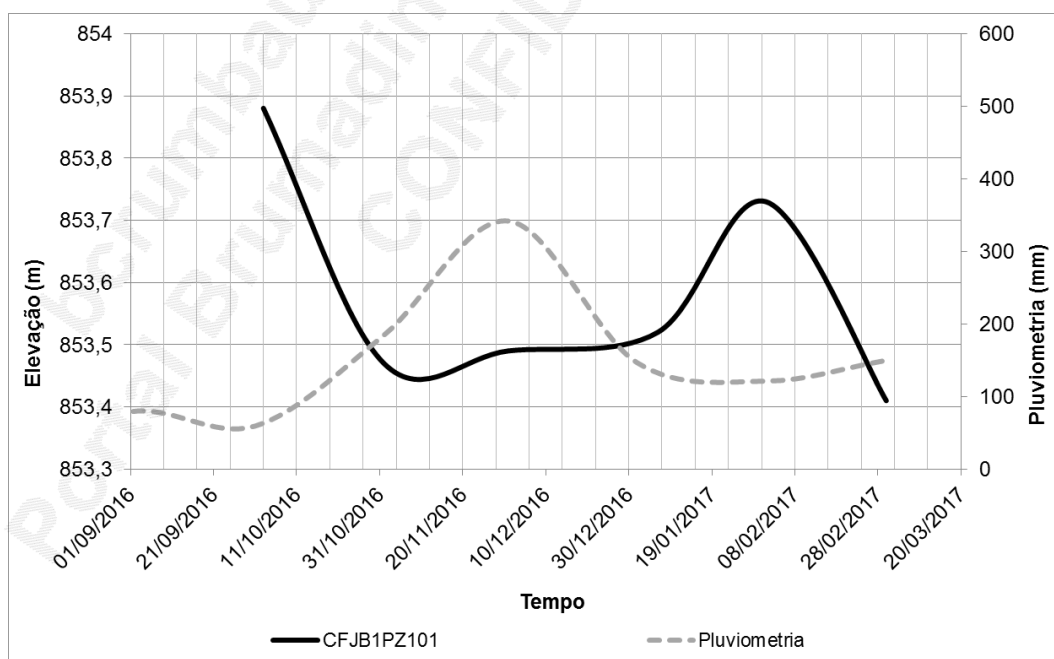


Medições do instrumento **CFJB1PZ099**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 220/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Medições do instrumento **CFJB1PZ100**. Fonte: Doc. [128].



Medições do instrumento **CFJB1PZ101**. Fonte: Doc. [128].

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 221/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

APÊNDICE E

INTERPRETAÇÃO DOS ENSAIOS DE PIEZOCONE (CPT_u)

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 222/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Apresenta-se a seguir a interpretação dos resultados dos ensaios de piezocone (CPTu). Os parâmetros diretos, medidos em campo, são:

q_c , resistência de ponta

f_s , resistência lateral

u_2 , poropressão medida na base do cone

q_t , resistência de ponta corrigida, $q_t = q_c + [(1 - a) \times u_2]$

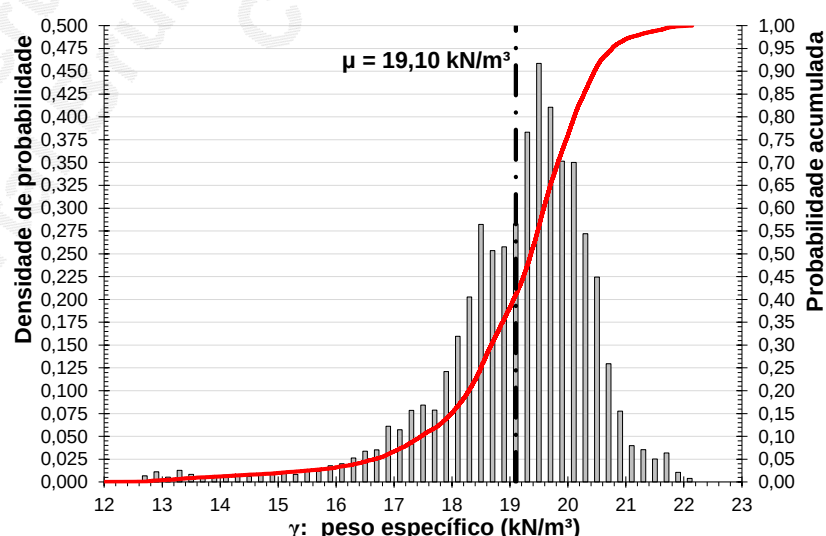
A relação entre as áreas do cone utilizado nos ensaios foi adotada como **$a = 0,75$** conforme calibração do equipamento, entregue juntamente com os resultados.

O peso específico dos materiais (γ), com relação ao peso específico da água ($\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$), foi estimado a partir de Robertson e Cabal (2010):

$$\gamma / \gamma_w = 0,27 \times \text{Log}(100\% \times f_s / q_t) + 0,36 \times \text{Log}(q_t/p_a) + 1,236$$

Tendo-se em conta que esta correlação foi determinada originalmente para solos diferentes dos rejeitos aqui analisados, os quais contém minério de ferro, os resultados tiveram de ser corrigidos. O peso específico dos rejeitos foi estimado multiplicando-se os resultados da correlação acima por **1,36**. Este fator de correção foi determinado de modo que a média de dos valores obtidos com a correlação ($\gamma = 19,10 \text{ kN/m}^3$) fosse igual ao valor médio adotado nas análises de estabilidade ($\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$), ou seja:

$$26,00 = 19,10 \times 1,36$$



	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 223/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Para permitir a interpretação dos resultados e possibilitar a classificação dos materiais, os parâmetros foram normalizados de acordo com Robertson (2009 e 2010a):

F_r , razão de atrito normalizada, $F_r = [f_s / (q_t - \sigma_{v0})] \times 100\%$

B_q , razão de poropressão normalizada, $B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{v0})$

Q_{tn} , resistência de ponta normalizada, $Q_{tn} = [(q_t - \sigma_{v0}) / p_a] \times (p_a / \sigma'_{v0})^n$

sendo σ_{v0} e σ'_{v0} respectivamente as tensões verticais *in-situ* total e efetiva, u_0 a poropressão *in-situ*, p_a a pressão atmosférica e n um expoente calculado a partir de I_c , o índice de comportamento normalizado do material:

$$n = (0,381 \times I_c) + (0,05 \times \sigma'_{v0} / p_a) - 0,15$$

$$I_c = [(3,47 - \log Q_{tn})^2 + (-1,22 - \log F_r)^2]^{0,5}$$

Como Q_{tn} depende de I_c e, por sua vez, I_c depende de Q_{tn} , esses parâmetros normalizados precisam ser calculados de modo iterativo, iniciando-se por $n = 1$.

Para classificar o material, optou-se pelo uso do gráfico $F_r \times Q_{tn}$ de análise do comportamento normalizado **SBTn** (*Soil Behaviour Type, normalized*), o qual apresenta 9 subdivisões de materiais:

- | | |
|--|--|
| (1) Solo fino com sensibilidade | |
| (2) Argila, Solo orgânico | $[I_c > 3,60]$ |
| (3) Argila a Argila siltosa | $[2,95 < I_c \leq 3,60]$ |
| (4) Argila siltosa a Silte argiloso | $[2,60 < I_c \leq 2,95]$ |
| (5) Silte arenoso a Areia siltosa | $[2,05 < I_c \leq 2,60]$ |
| (6) Areia siltosa a Areia | $[1,31 < I_c \leq 2,05]$ |
| (7) Areia compacta a Areia com pedregulhos | $[I_c \leq 1,31]$ |
| (8) Areia argilosa a Areia rija * | |
| (9) Solo fino rijo * | * <i>sobreconsolidado ou cimentado</i> |

É importante salientar que a classificação aqui apresentada é baseada na resposta do piezocone ao comportamento geomecânico do material ensaiado, normalizado conforme descrito acima. Portanto, esta classificação não corresponde aos critérios convencionais que se baseiam na granulometria e na plasticidade do material.

Para a presente análise, os rejeitos foram simplifiadamente classificados como **coesivos** (SBTn 2 e 3, materiais com excesso de poropressão gerado pela cravação do cone, baixa resistência de ponta e razão de atrito elevada) ou **não-coesivos** (SBTn 4, 5, 6 e 7, materiais que não geram excesso de poropressão, com elevada resistência de ponta e reduzida razão de atrito). Além destes dois materiais, foram identifiados também os aterros e os materiais mais superficiais (sujeitos a ressecamento, sobre-consolidação e compactação por tráfego de equipamentos).

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 224/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Para os rejeitos não-coesivos, a classificação foi complementada pelo parâmetro de estado Ψ e pela compacidade relativa D_r .

O parâmetro de estado se refere à diferença entre o índice de vazios *in-situ* e o índice de vazios crítico do material ($\Psi = e_0 - e_c$). Deste modo, valores negativos indicam um estado compacto com tendência a dilatação ao ser cisalhado, enquanto que valores positivos indicam um estado fofo com tendência a contração (suscetível à liquefação). O parâmetro de estado dos rejeitos não-coesivos foi estimado de acordo com Robertson (2010b):

$$\Psi = 0,56 - 0,33 \times \text{Log} (Q_{tn,areia})$$

sendo $Q_{tn,areia}$ a resistência de ponta normalizada equivalente para areias puras, determinada em função do fator de correção K_c

$$Q_{tn,areia} = K_c \times Q_{tn}$$

$$\text{para } I_c \leq 1,64: K_c = 1$$

$$\text{para } I_c > 1,64: K_c = -0,403 \times I_c^4 + 5,581 \times I_c^3 - 21,63 \times I_c^2 + 33,75 \times I_c - 17,88$$

A compacidade relativa indica o estado do material com relação às suas condições mais fofas ou compactas possíveis ($D_r = e_{máx} - e / e_{máx} - e_{min}$). Usualmente, um material compacto apresenta $D_r > 66\%$ enquanto que um material fofo apresenta $D_r < 33\%$ (suscetível à liquefação). A compacidade relativa dos rejeitos não-coesivos foi estimada de acordo com Jamiolkowski et al. (1985):

$$D_r = -98 + 66 \times \text{Log} (q_c / \sigma'_{v0}{}^{0,50}) \quad (q_c \text{ e } \sigma'_{v0} \text{ expressos em tf/m}^2)$$

Com relação à resistência ao cisalhamento, inicialmente estimou-se o ângulo de atrito efetivo dos rejeitos não-coesivos, a partir de Robertson e Campanella (1983):

$$\tan(\phi') = [0,29 + \text{Log}(q_c / \sigma'_{v0})] / 2,68$$

As resistências ao cisalhamento para a condição não-drenada, de pico e residual, foram estimadas para todos os rejeitos.

Para os rejeitos não-coesivos, recorreu-se às correlações propostas por Olson (2001):

$$S_u \text{ pico} / \sigma'_{v0} = 0,205 + (0,0143 \times q_{c,1}) \quad \text{para } q_{c,1} \leq 6,5 \text{ MPa}$$

$$S_u \text{ residual} / \sigma'_{v0} = 0,030 + (0,0143 \times q_{c,1}) \quad \text{para } q_{c,1} \leq 6,5 \text{ MPa}$$

sendo $q_{c,1}$ o valor corrigido da resistência de ponta q_c , em função de σ'_{v0} e p_a

$$q_{c,1} = q_c \times 1,8 / [0,8 + (\sigma'_{v0} / p_a)] \quad \text{para } q_{c,1} \leq q_c \times 2,0$$

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 225/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Para os rejeitos coesivos, as resistências não-drenadas foram estimadas a partir de Robertson (2012):

$$S_{u \text{ pico}} = (q_t - \sigma_{v0}) / N_{kt}$$

$$S_{u \text{ residual}} = f_s$$

sendo N_{kt} um coeficiente que depende da rigidez, razão de sobre-adensamento e sensibilidade do material, sendo a última a que exerce maior influência, sendo valores típicos $N_{kt} = 10$ a 20 .

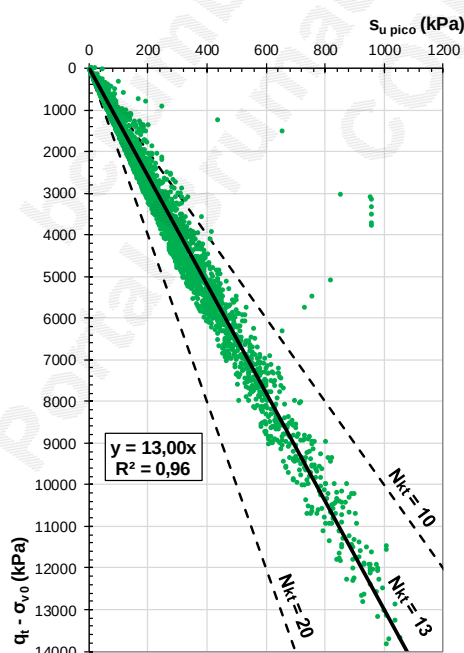
O coeficiente N_{kt} foi inicialmente estimado em função da sensibilidade do material, a partir da razão de atrito normalizada, de acordo com Robertson (2012):

$$N_{kt} = 10,5 + 7 \times \text{Log}(F_r)$$

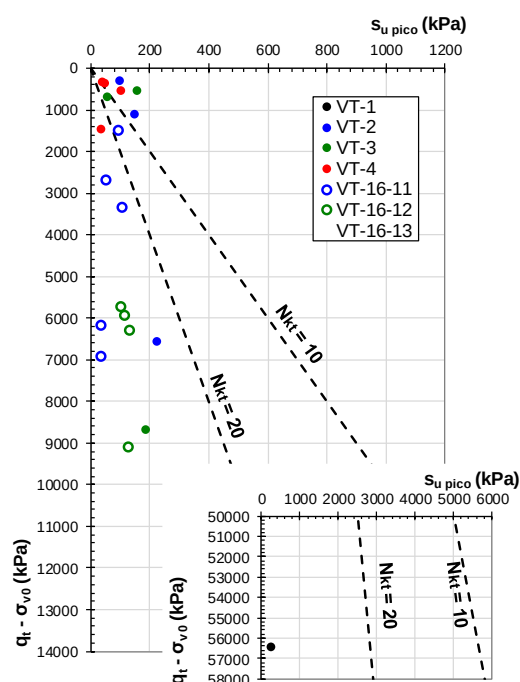
Com o intuito de evitar que o valor de $S_{u \text{ residual}}$ fosse superior ao de $S_{u \text{ pico}}$, optou-se por limitar o valor dessa correlação, de modo que:

$$N_{kt} \leq (q_t - \sigma_{v0}) / f_s$$

Por fim, adotou-se o valor único de $N_{kt} = 13$, a partir da interpretação de todos os resultados obtidos de $(q_t - \sigma_{v0})$ e de $S_{u \text{ pico}}$ para os rejeitos coesivos. Também foram avaliados resultados de ensaios de palheta (*Vane Test*), os quais não foram considerados satisfatórios ($N_{kt} > 20$).



(a) resultados da correlação de Robertson (2012)



(b) resultados dos ensaios de palheta

Após todo o exposto, apresenta-se a seguir a interpretação de todos os ensaios CPTu disponibilizados.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

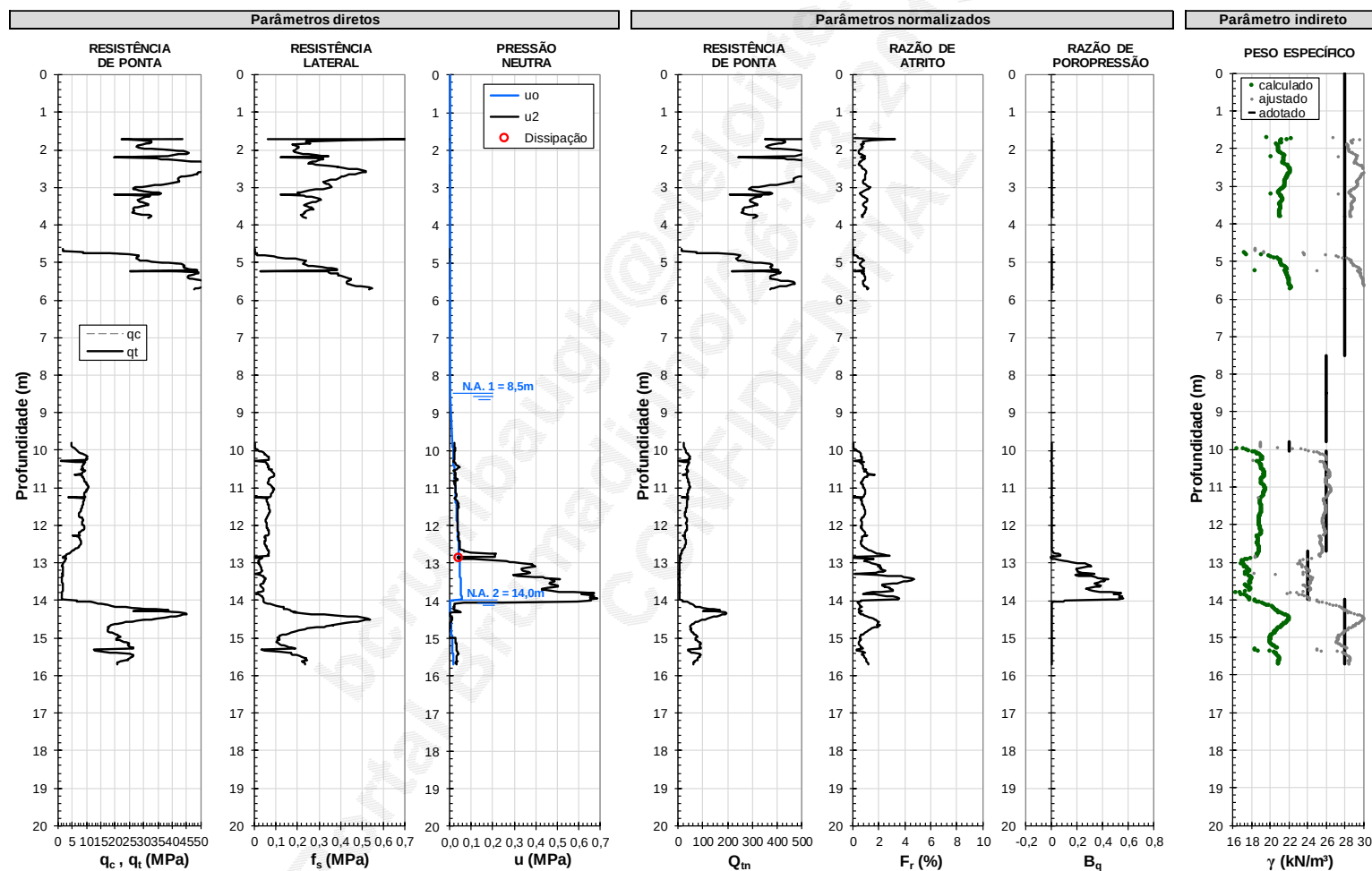
RC-SP-117/17

PÁGINA

226/265

REV.

4



CPTu 2005-1: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

227/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

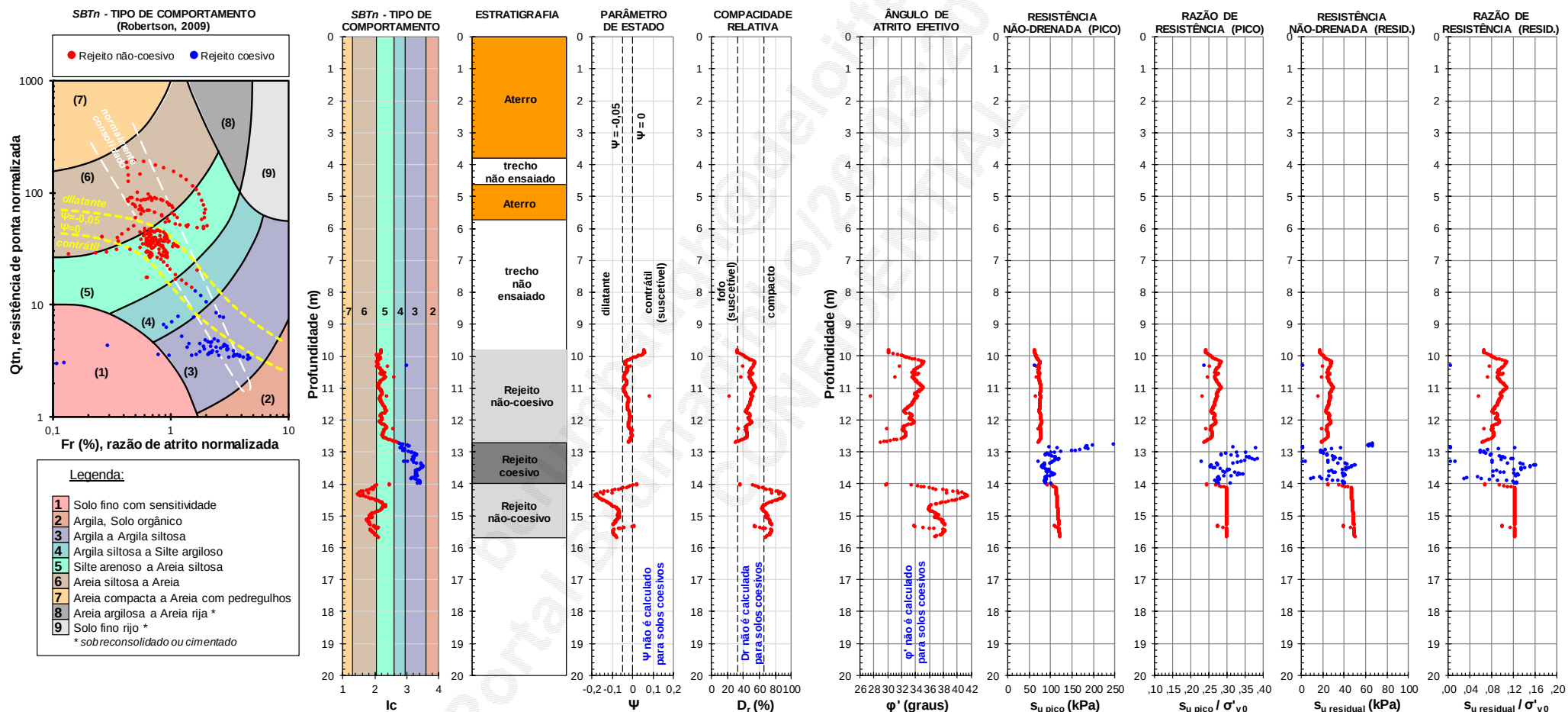
REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação

Resistência ao cisalhamento



CPTu 2005-1: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

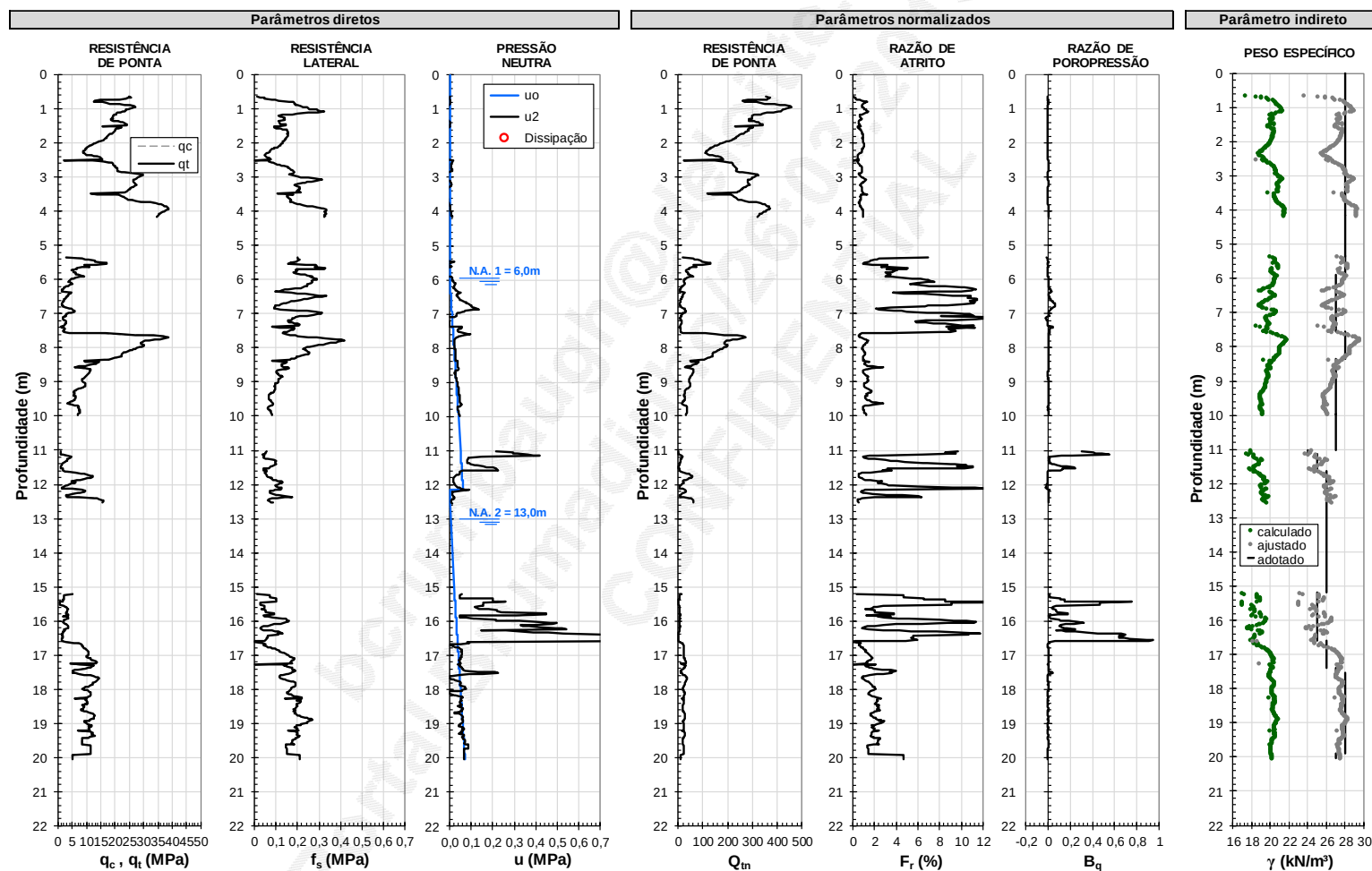
228/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4



CPTu 2005-2: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

229/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

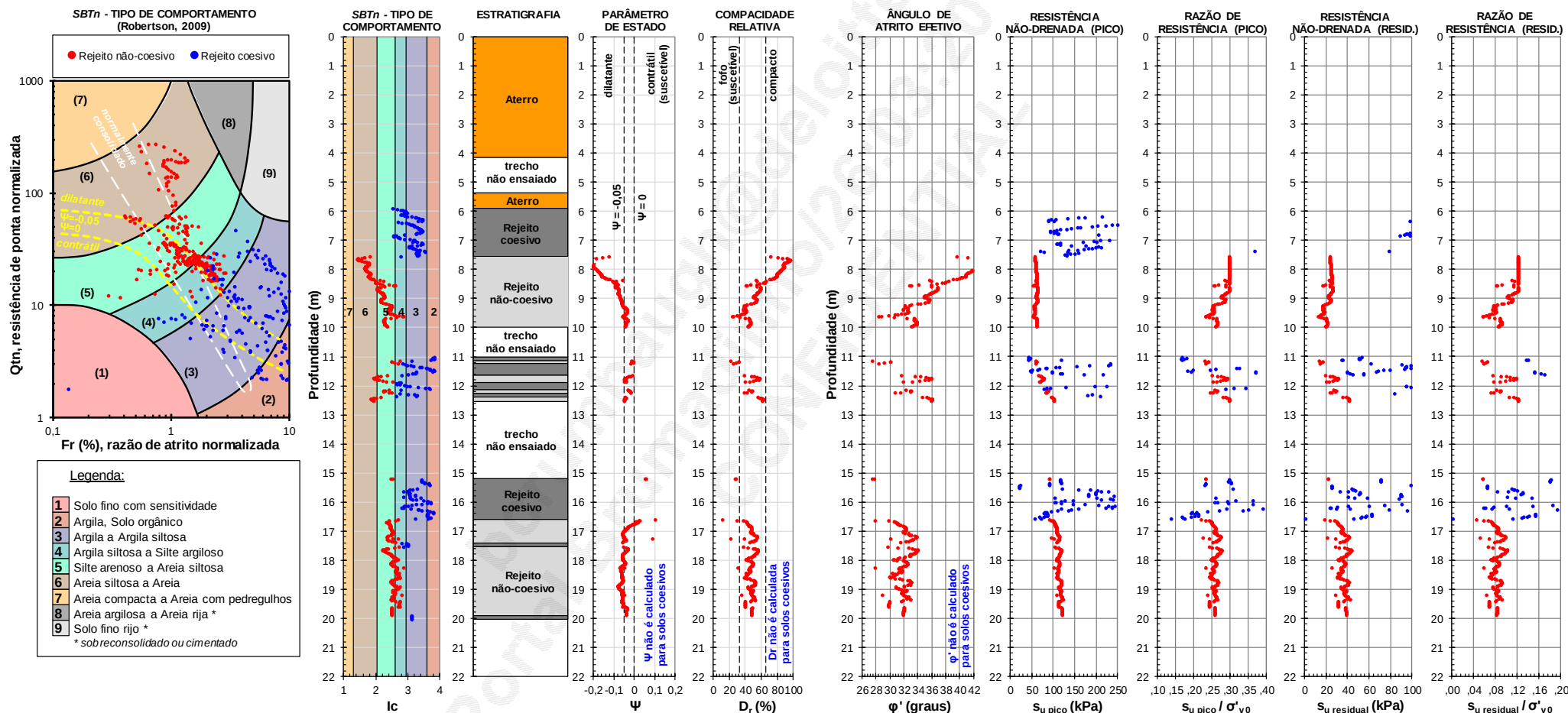
REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação

Resistência ao cisalhamento



CPTu 2005-2: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

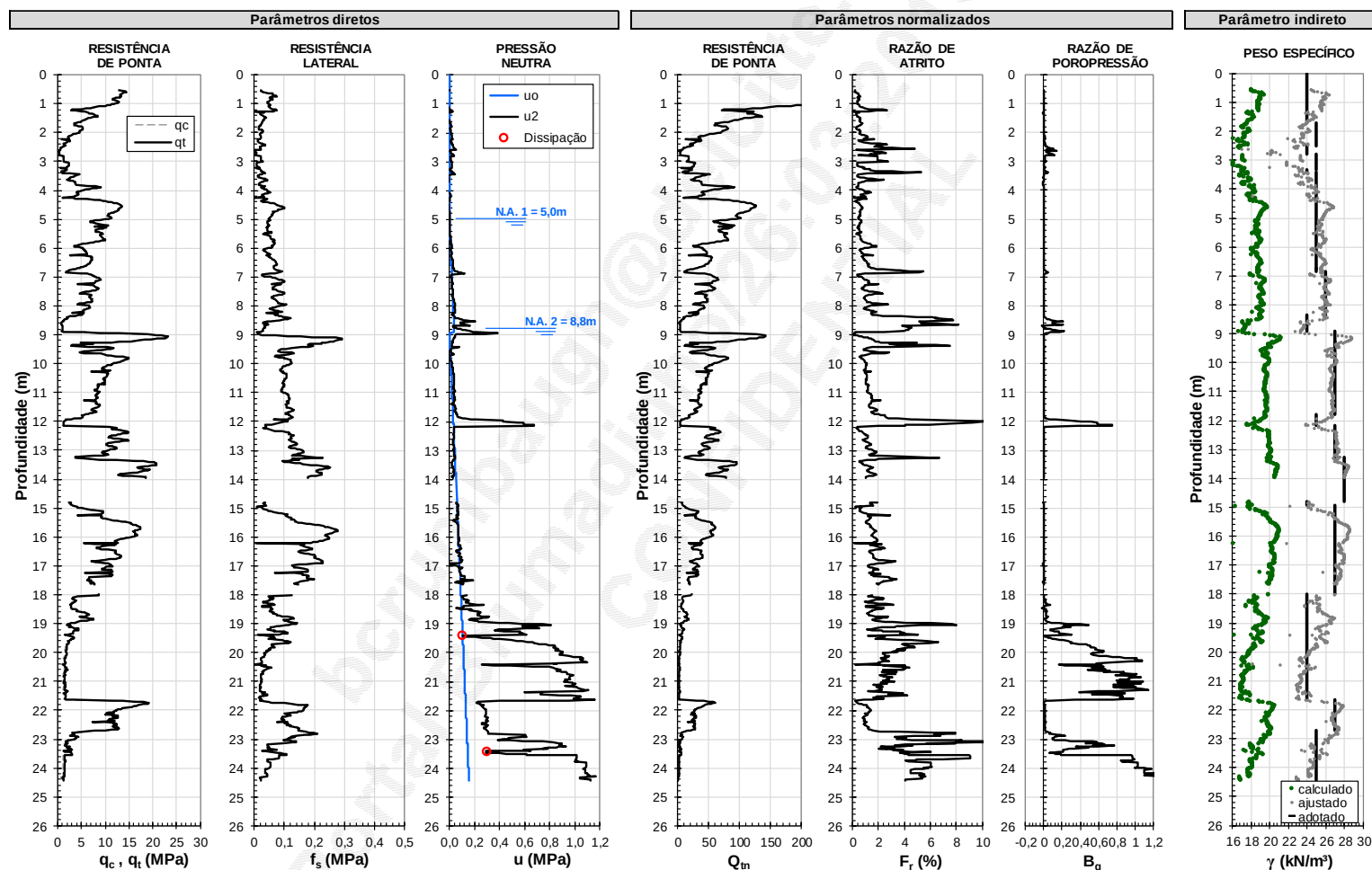
RC-SP-117/17

PÁGINA

230/265

REV.

4



CPTu 2005-3: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

231/265

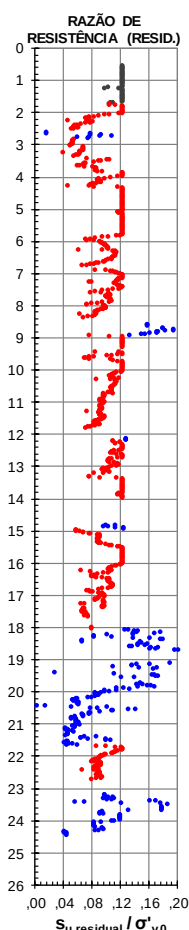
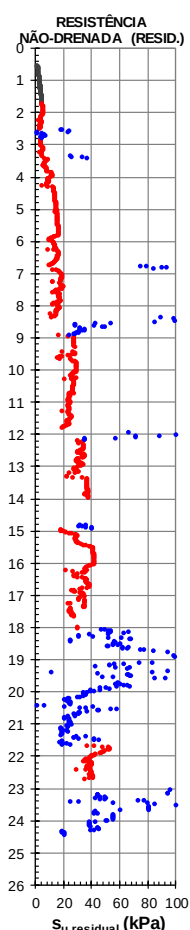
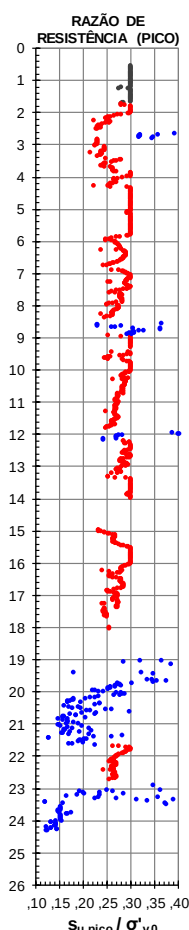
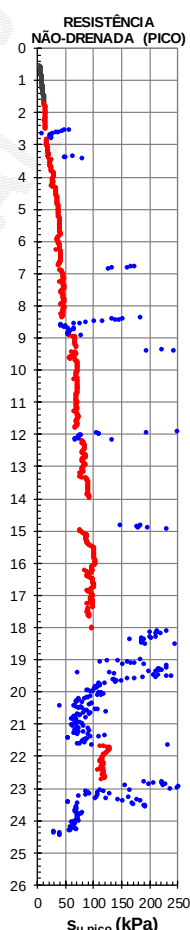
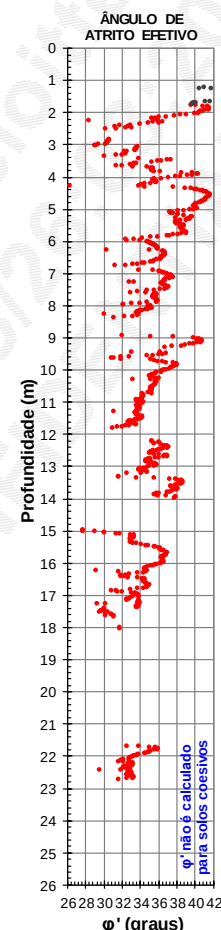
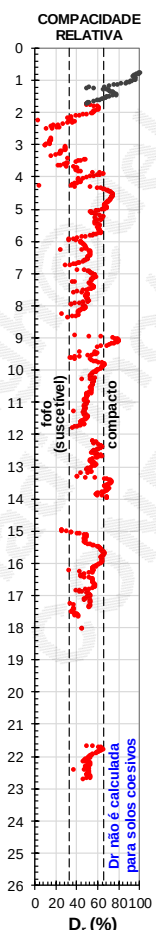
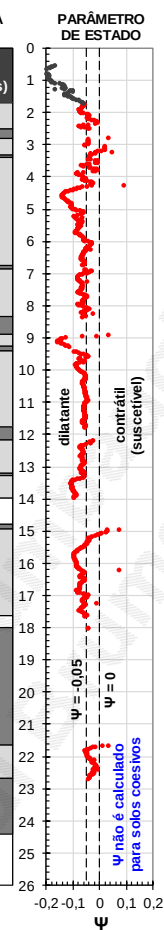
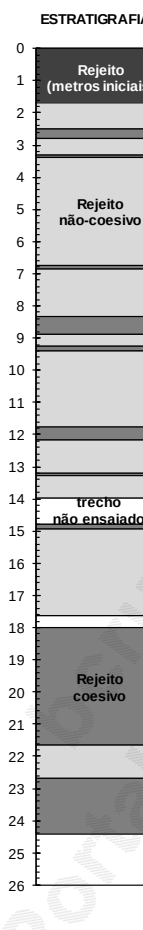
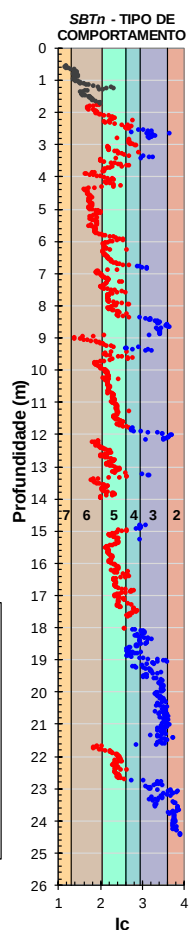
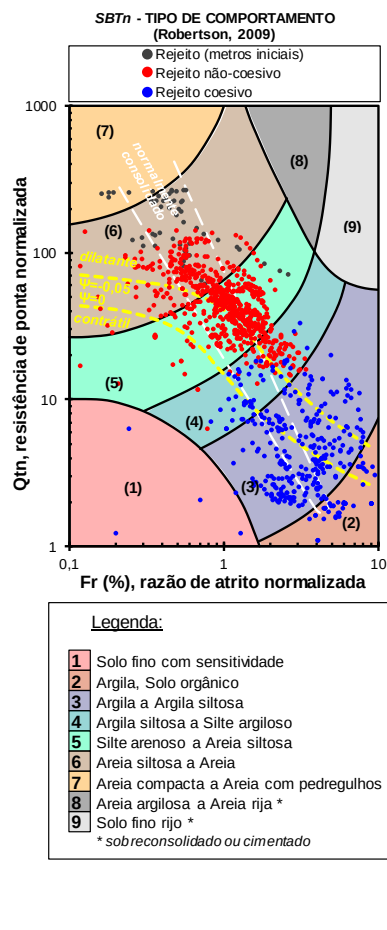
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação



CPTu 2005-3: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

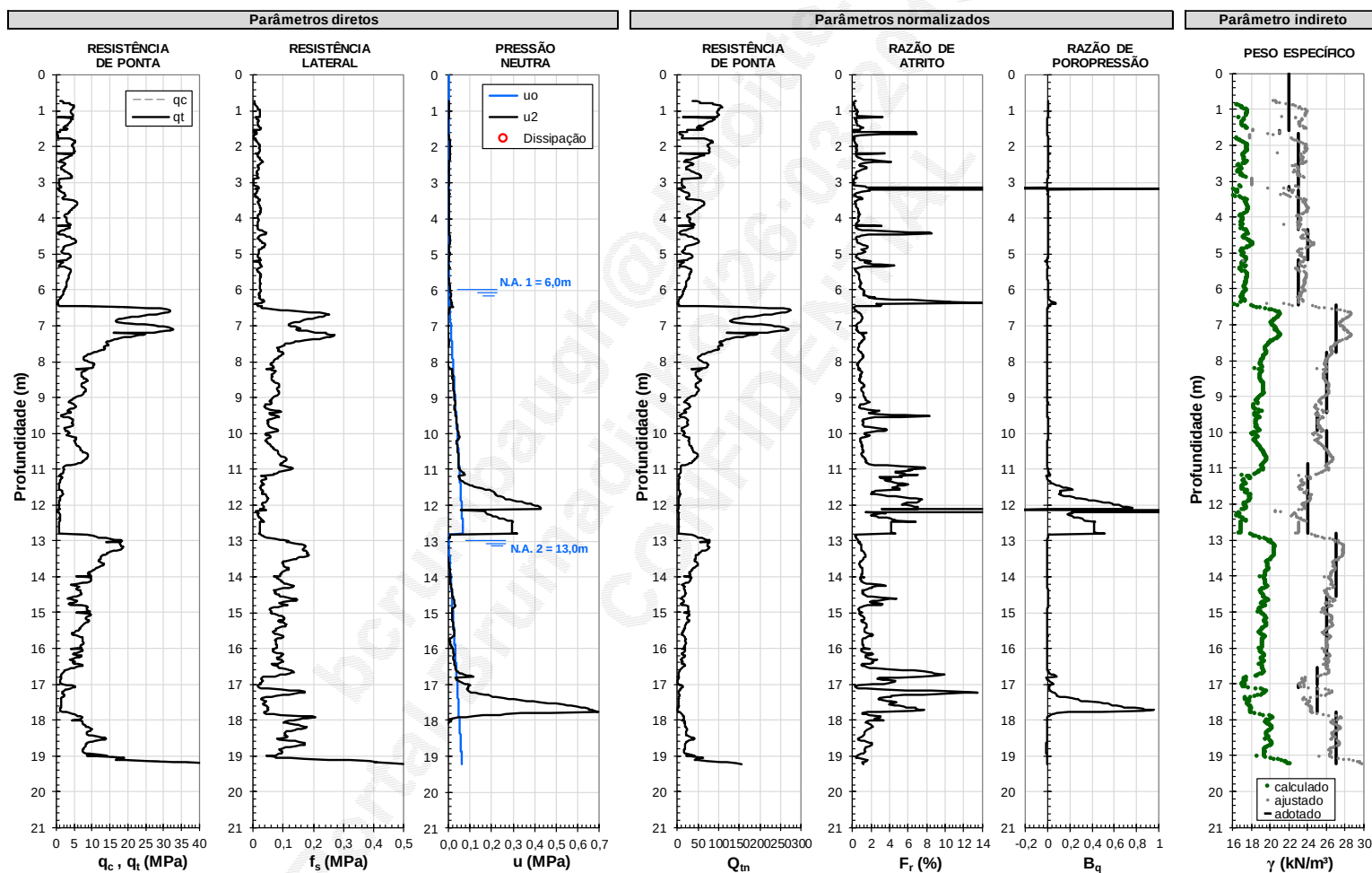
232/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4



CPTu 2005-4: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

233/265

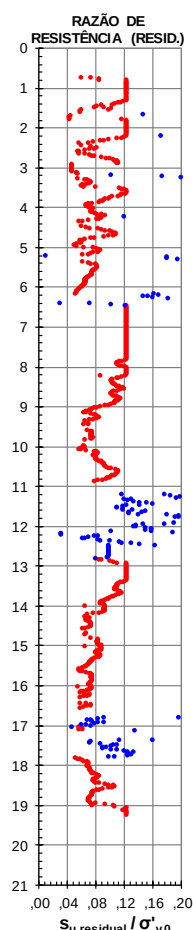
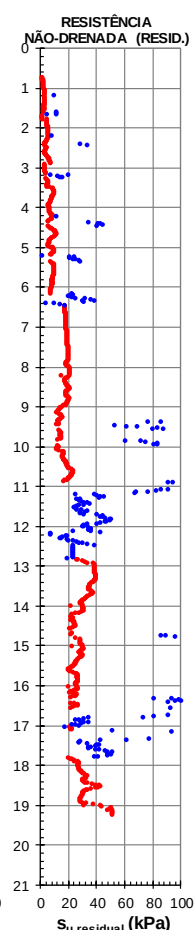
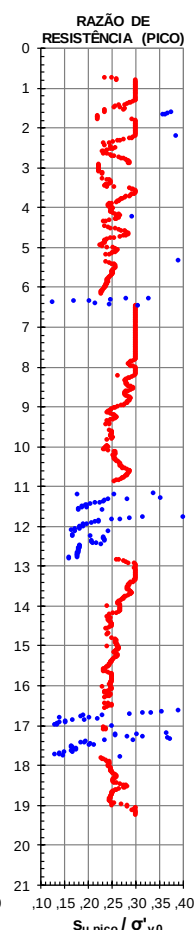
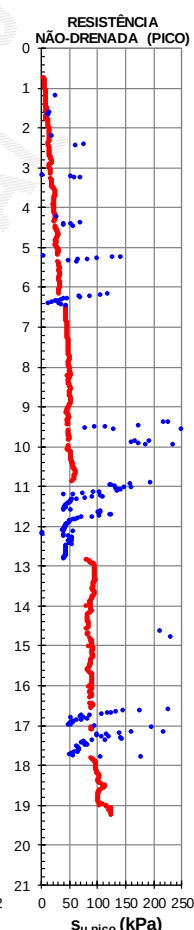
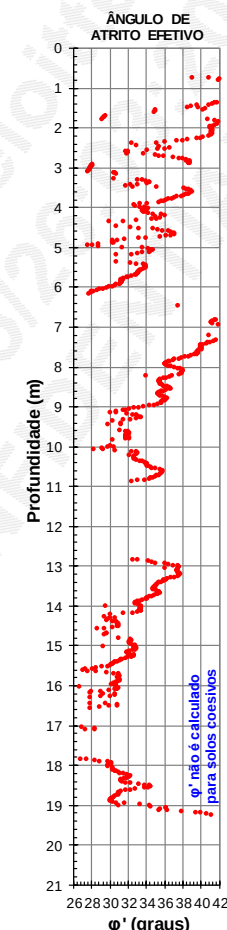
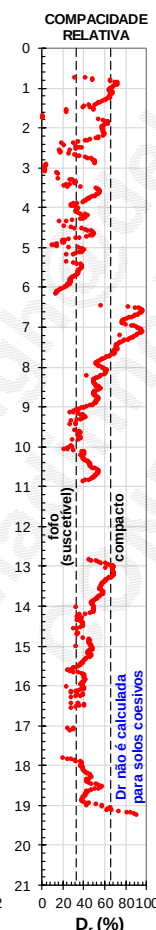
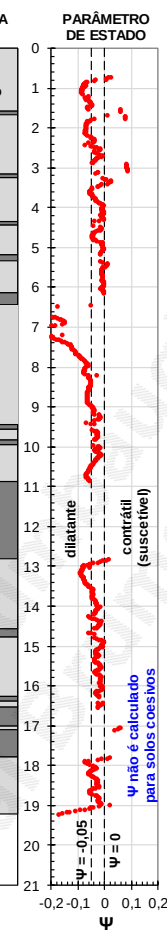
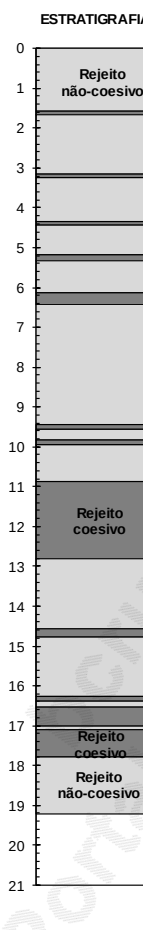
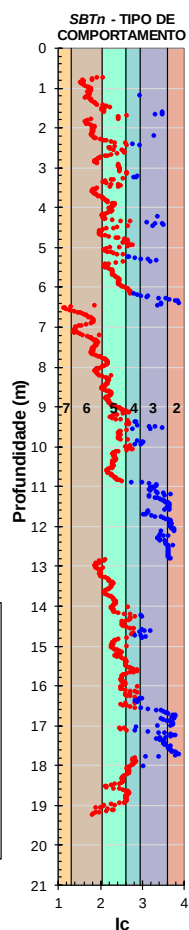
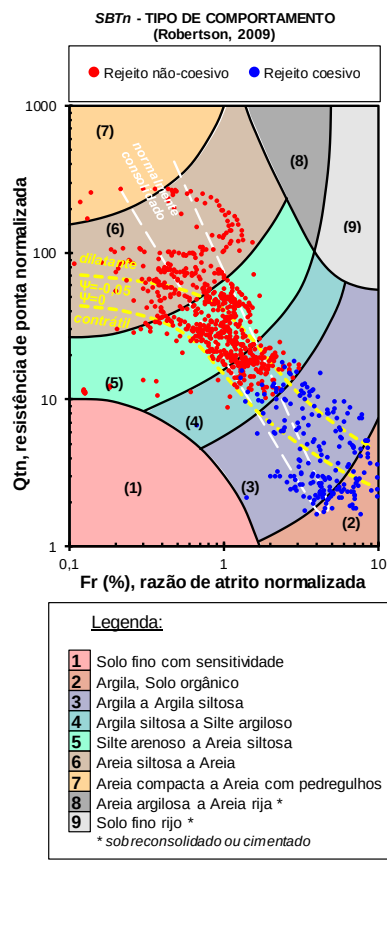
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação



CPTu 2005-4: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

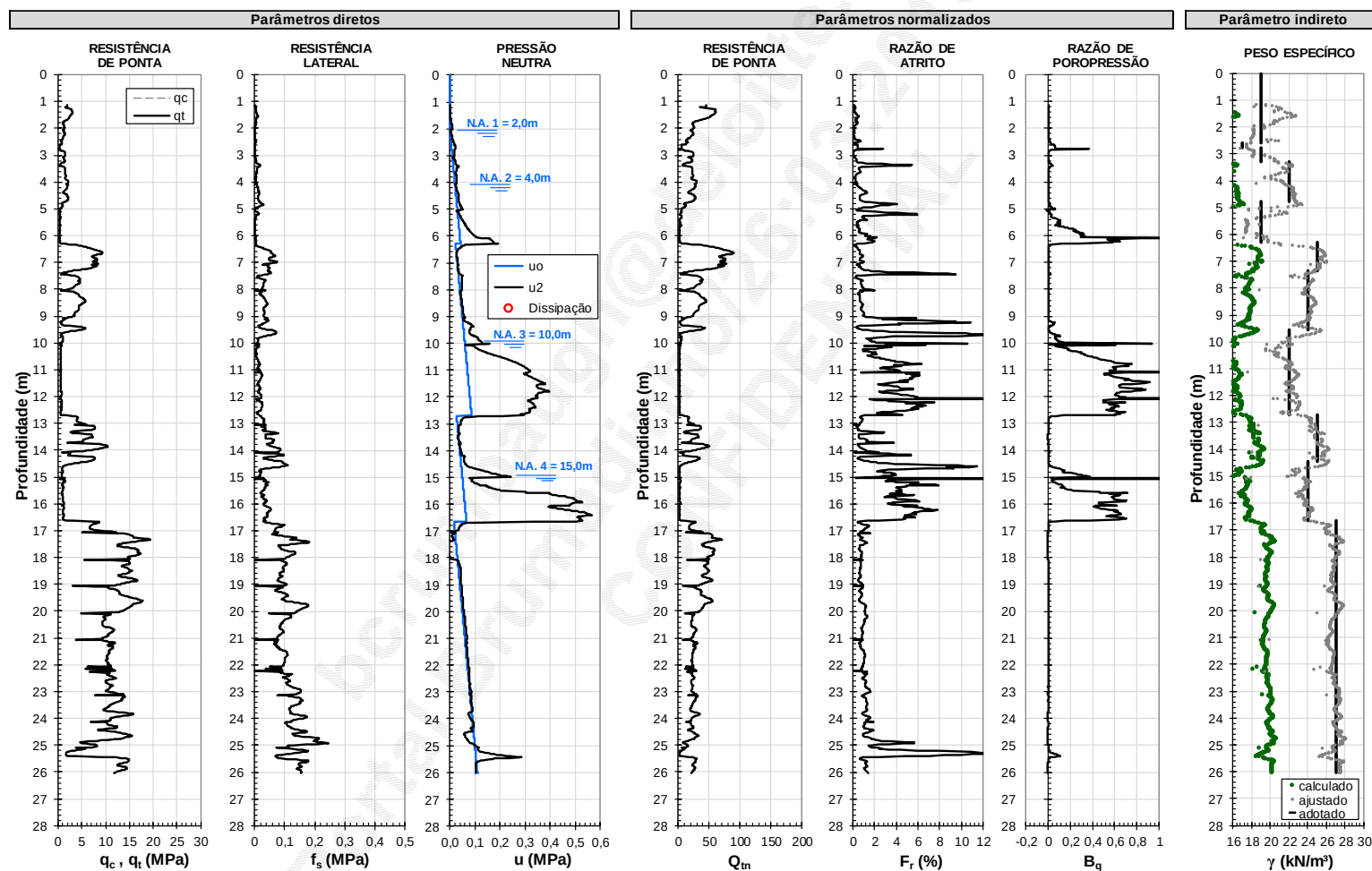
234/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4



CPTu 2005-5: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

235/265

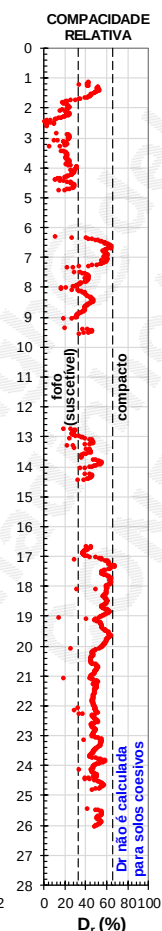
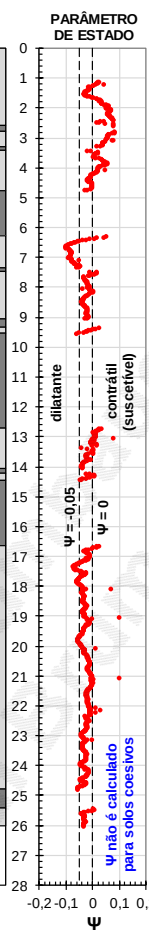
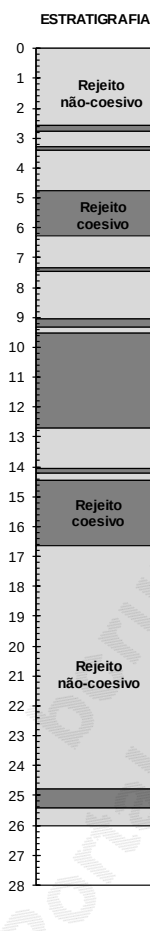
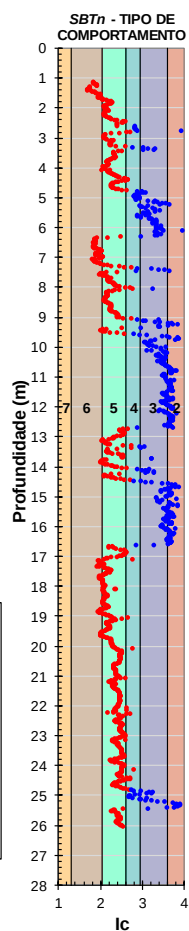
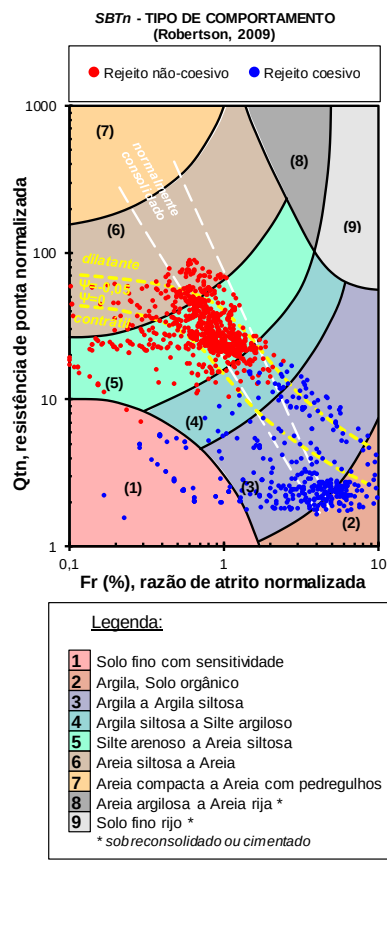
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

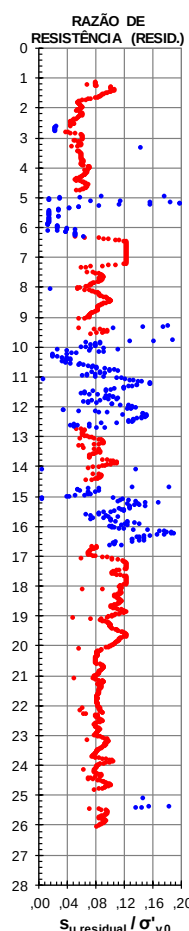
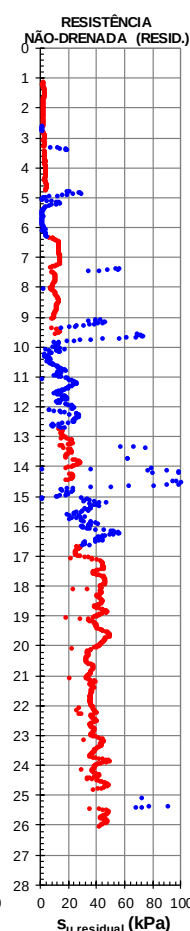
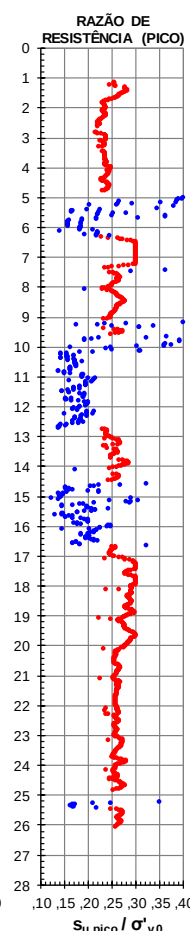
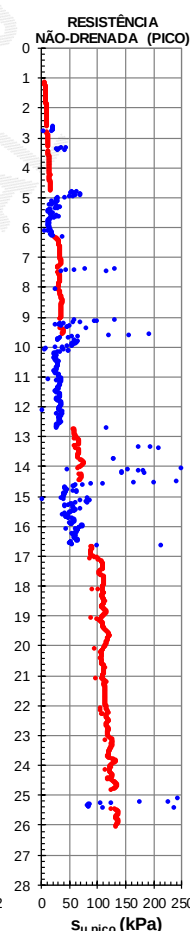
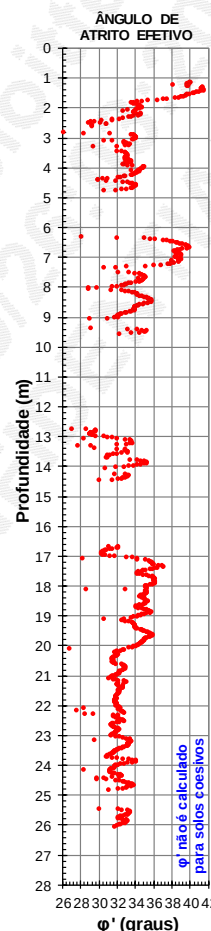
RC-SP-117/17

4

Classificação



Resistência ao cisalhamento



CPTu 2005-5: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

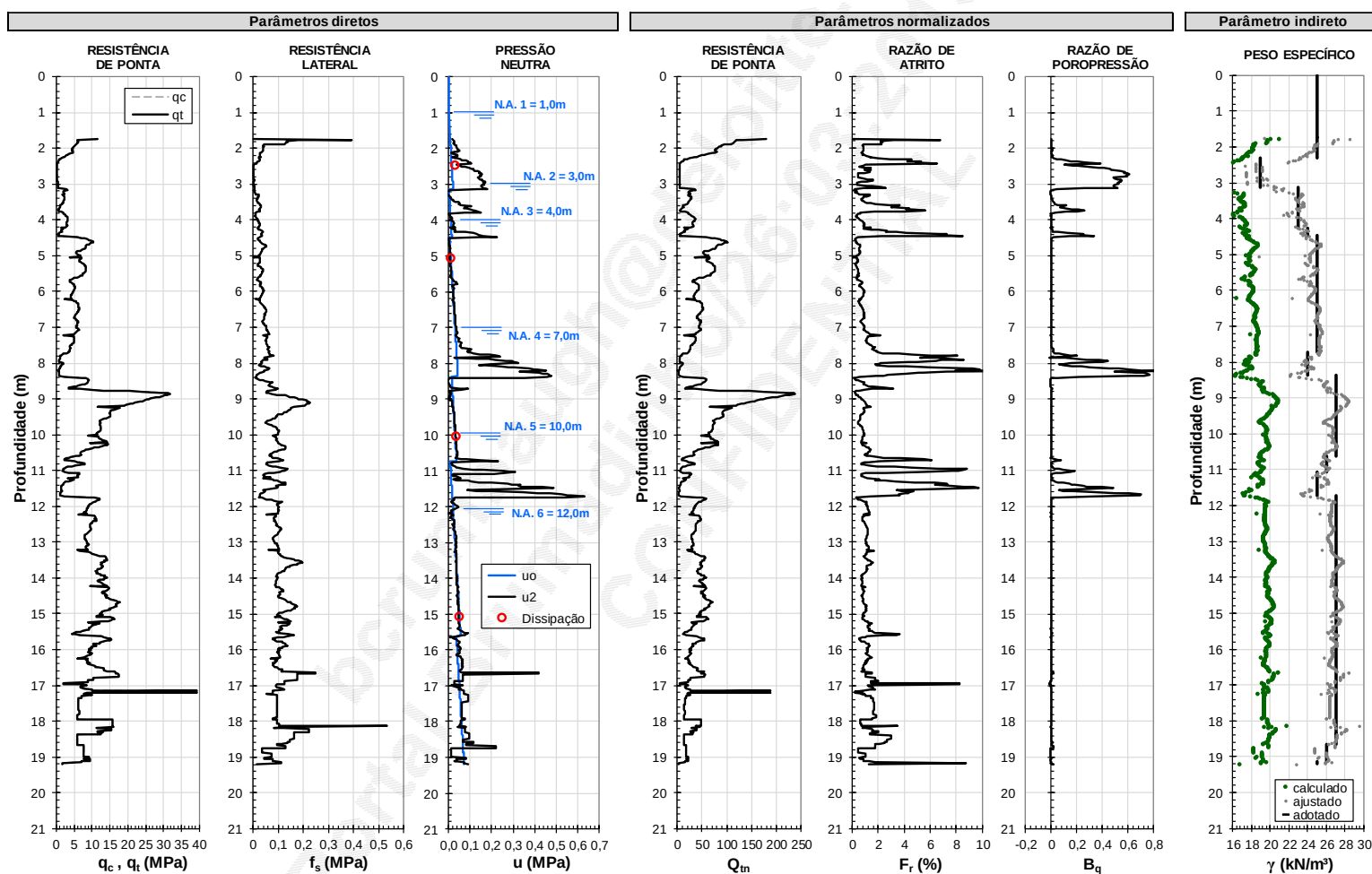
236/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4



CPTu 2005-7: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

237/265

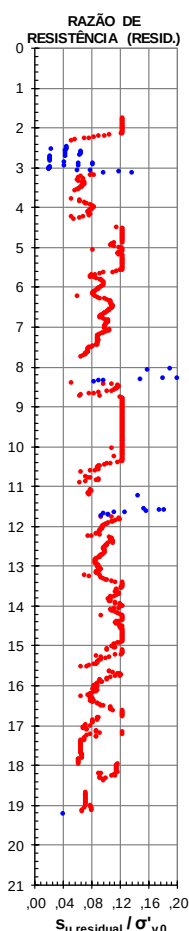
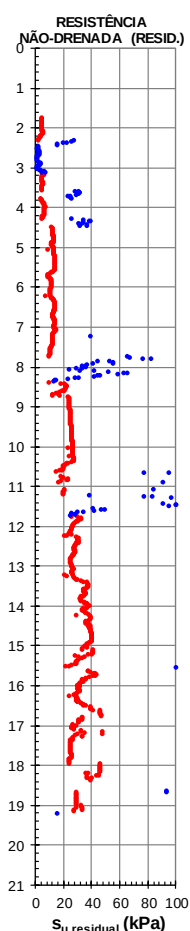
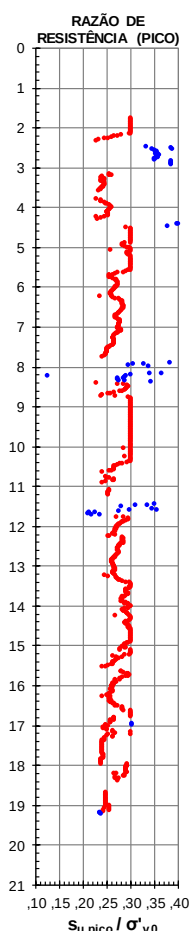
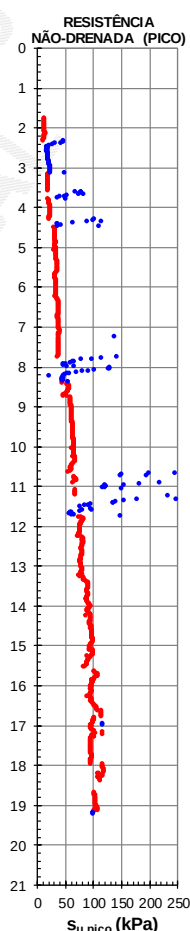
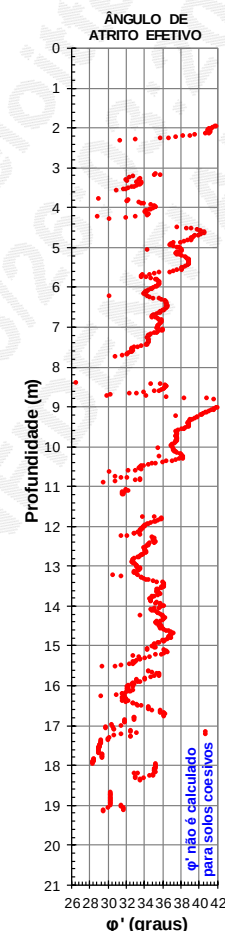
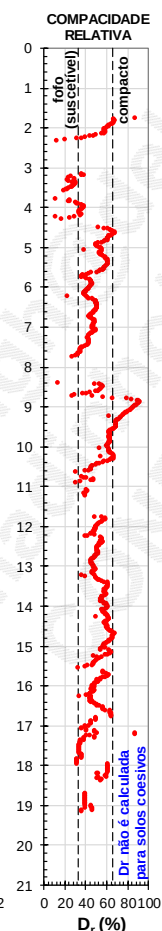
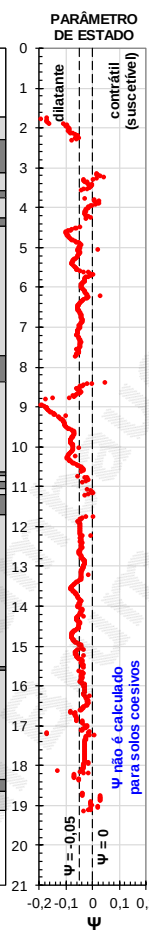
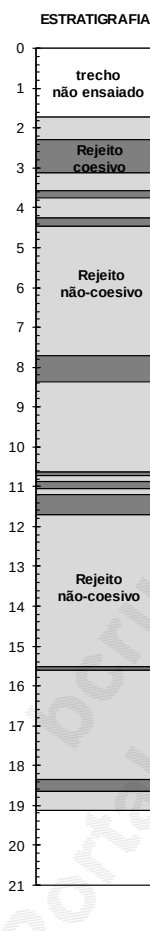
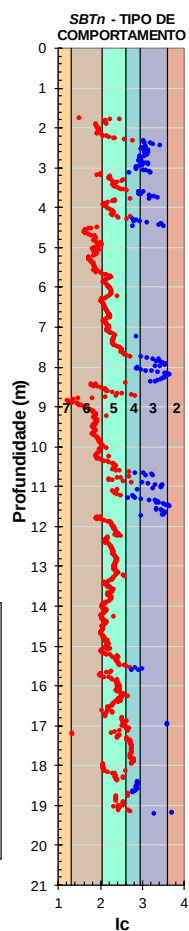
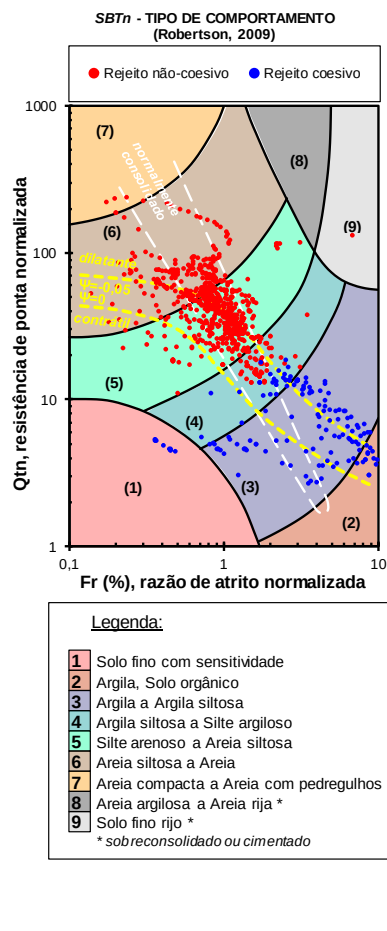
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação



CPTu 2005-7: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

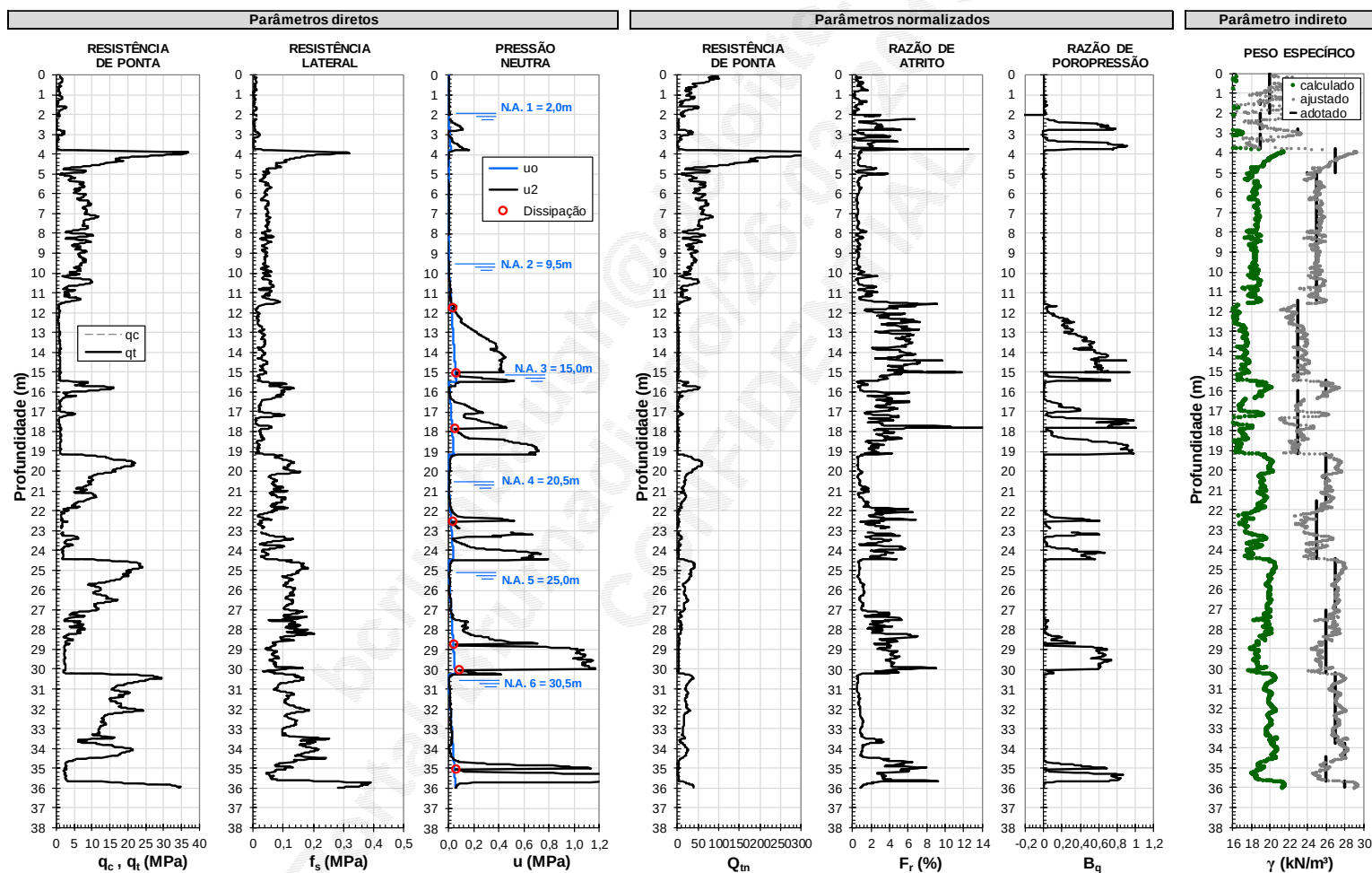
238/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4



CPTu 2016-03: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

239/265

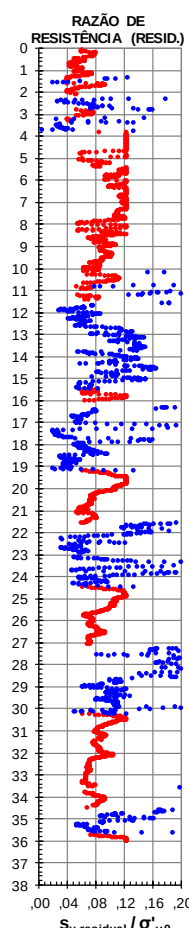
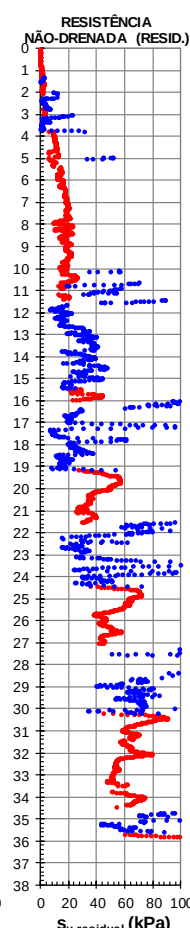
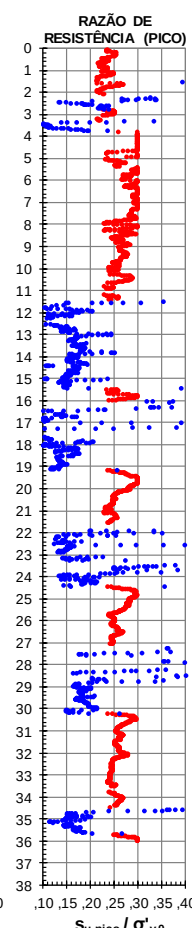
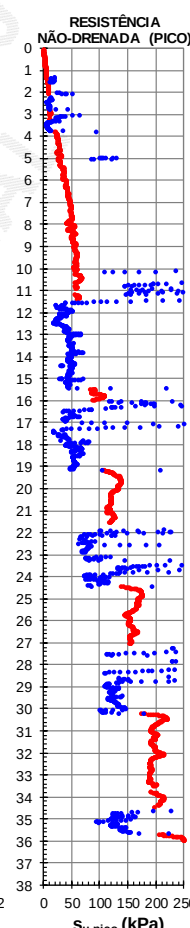
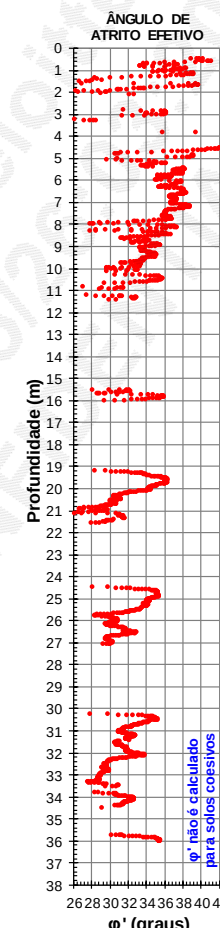
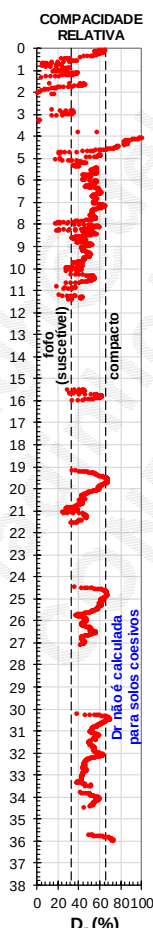
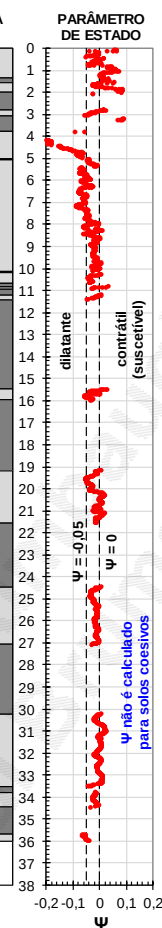
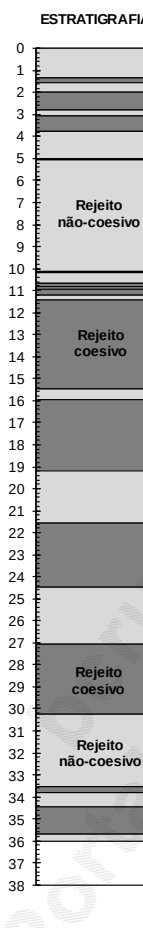
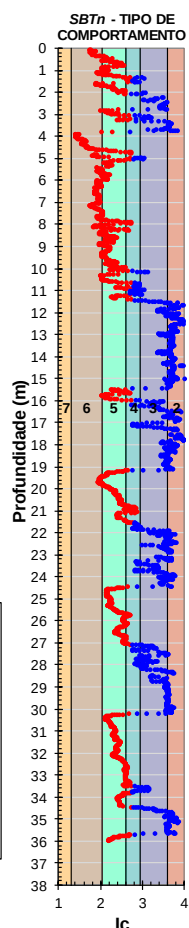
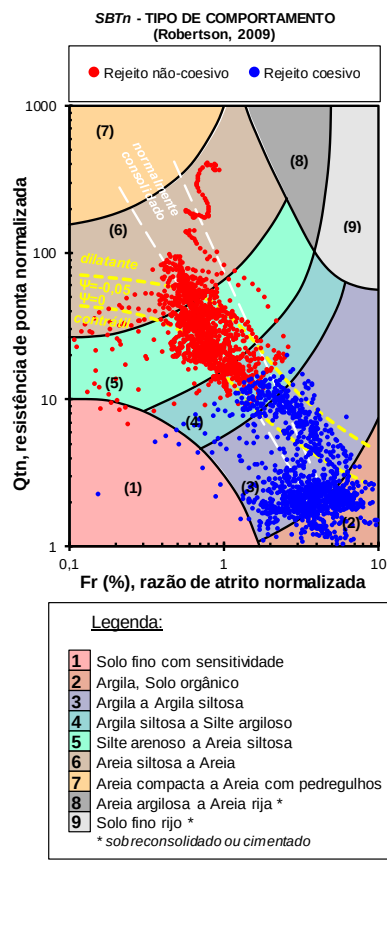
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação



CPTu 2016-03: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

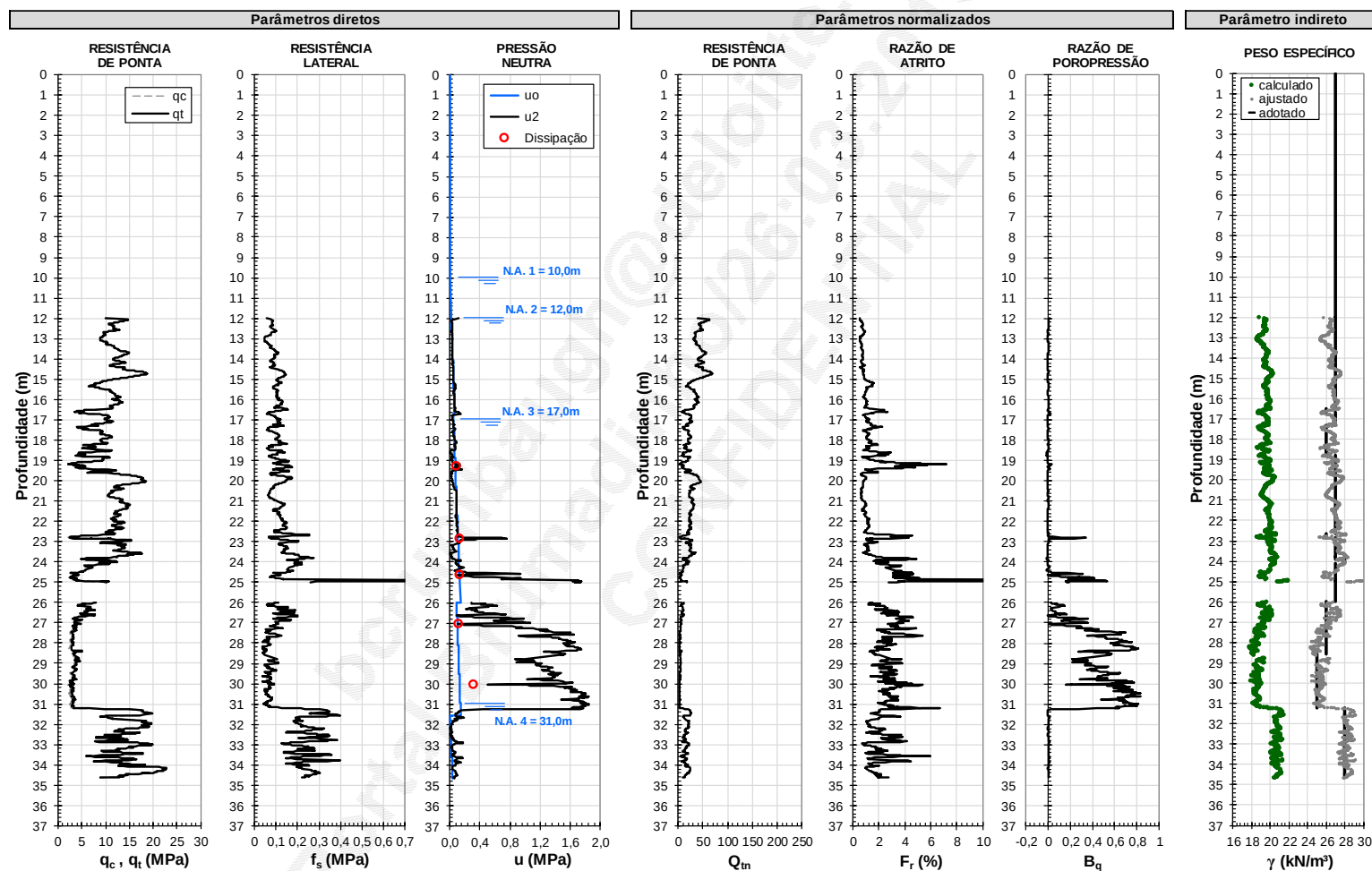
RC-SP-117/17

PÁGINA

240/265

REV.

4



CPTu 2016-04: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

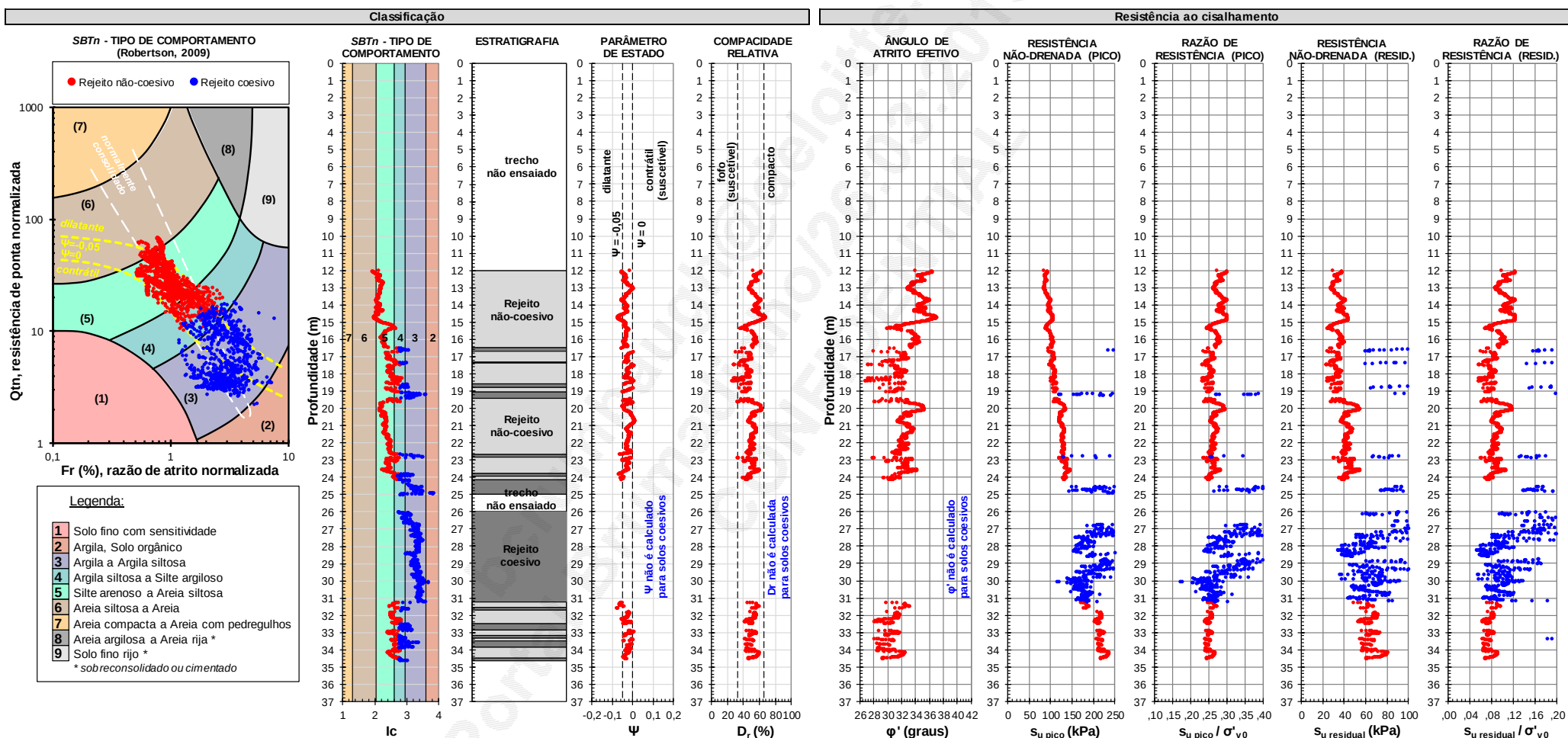
241/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4



CPTu 2016-04: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

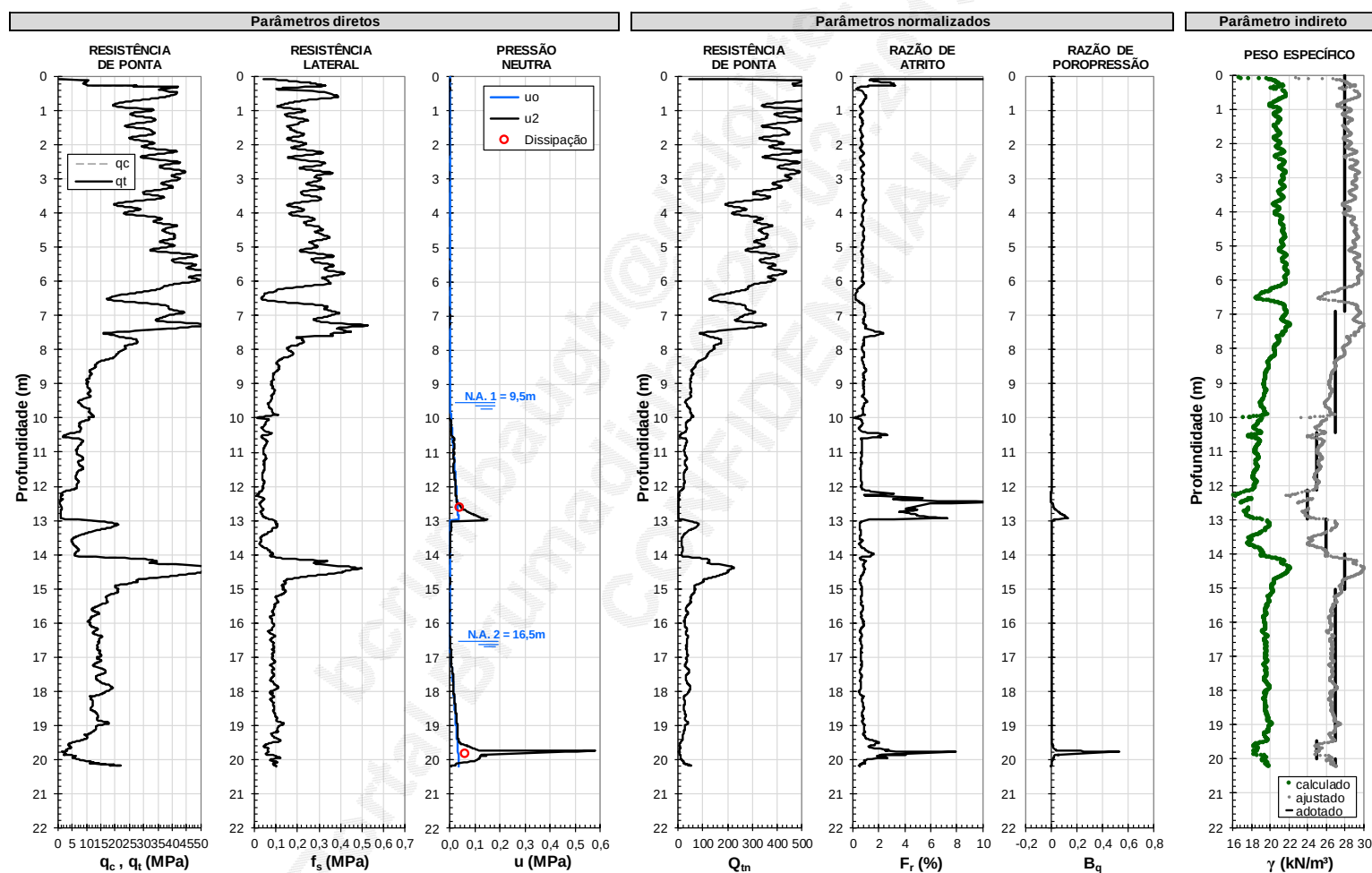
242/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4



CPTu 2016-05: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

243/265

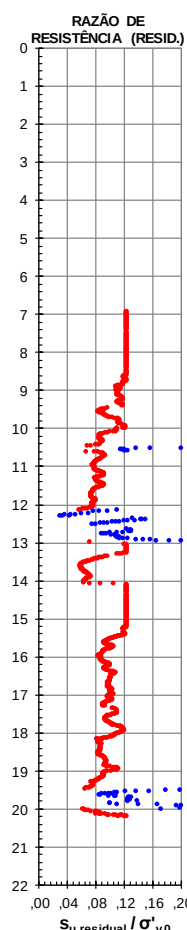
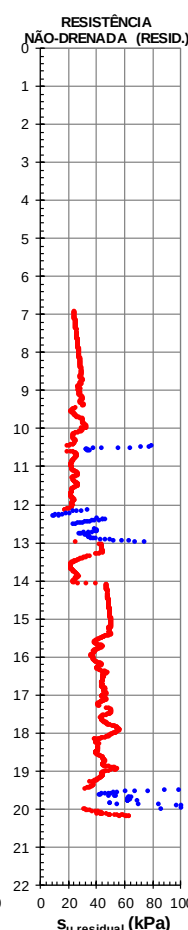
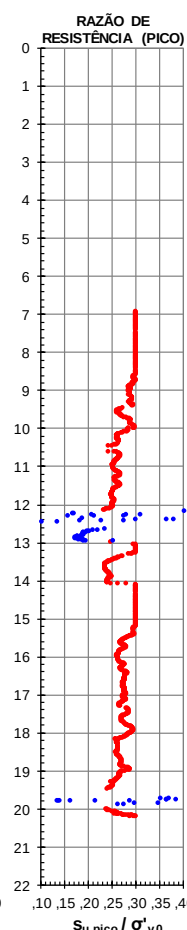
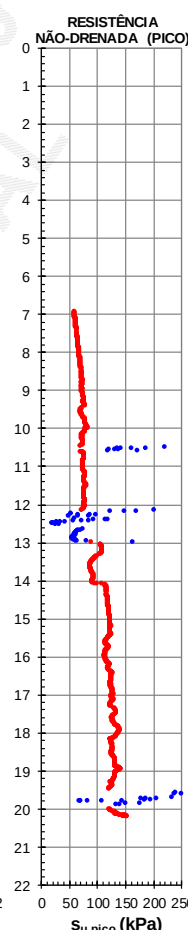
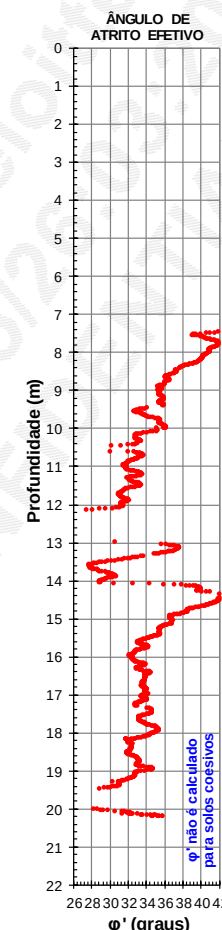
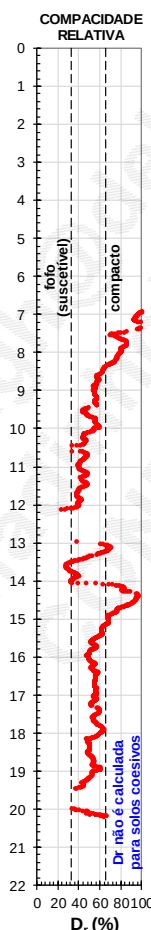
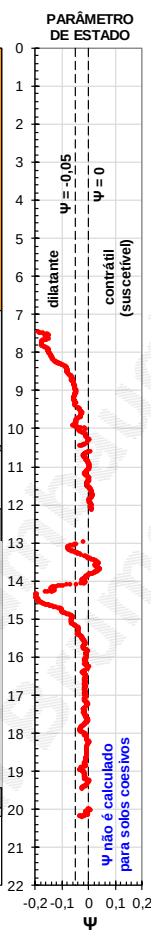
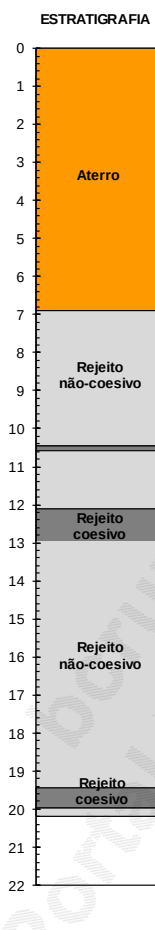
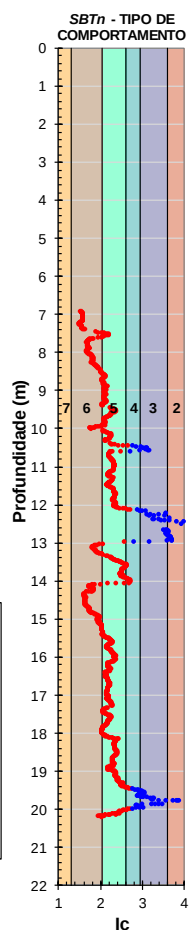
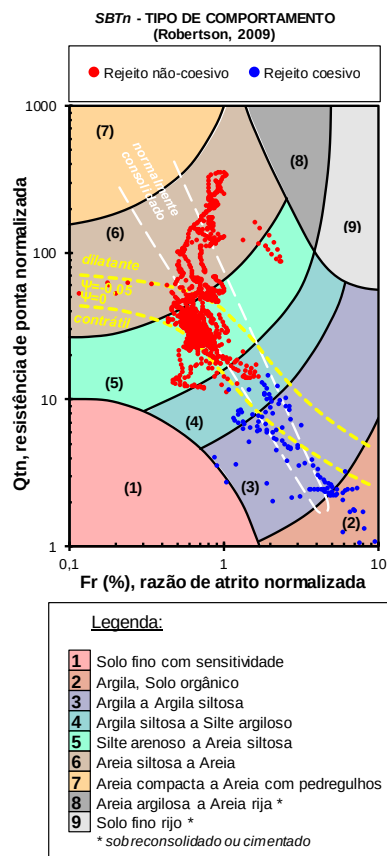
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação



CPTu 2016-05: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

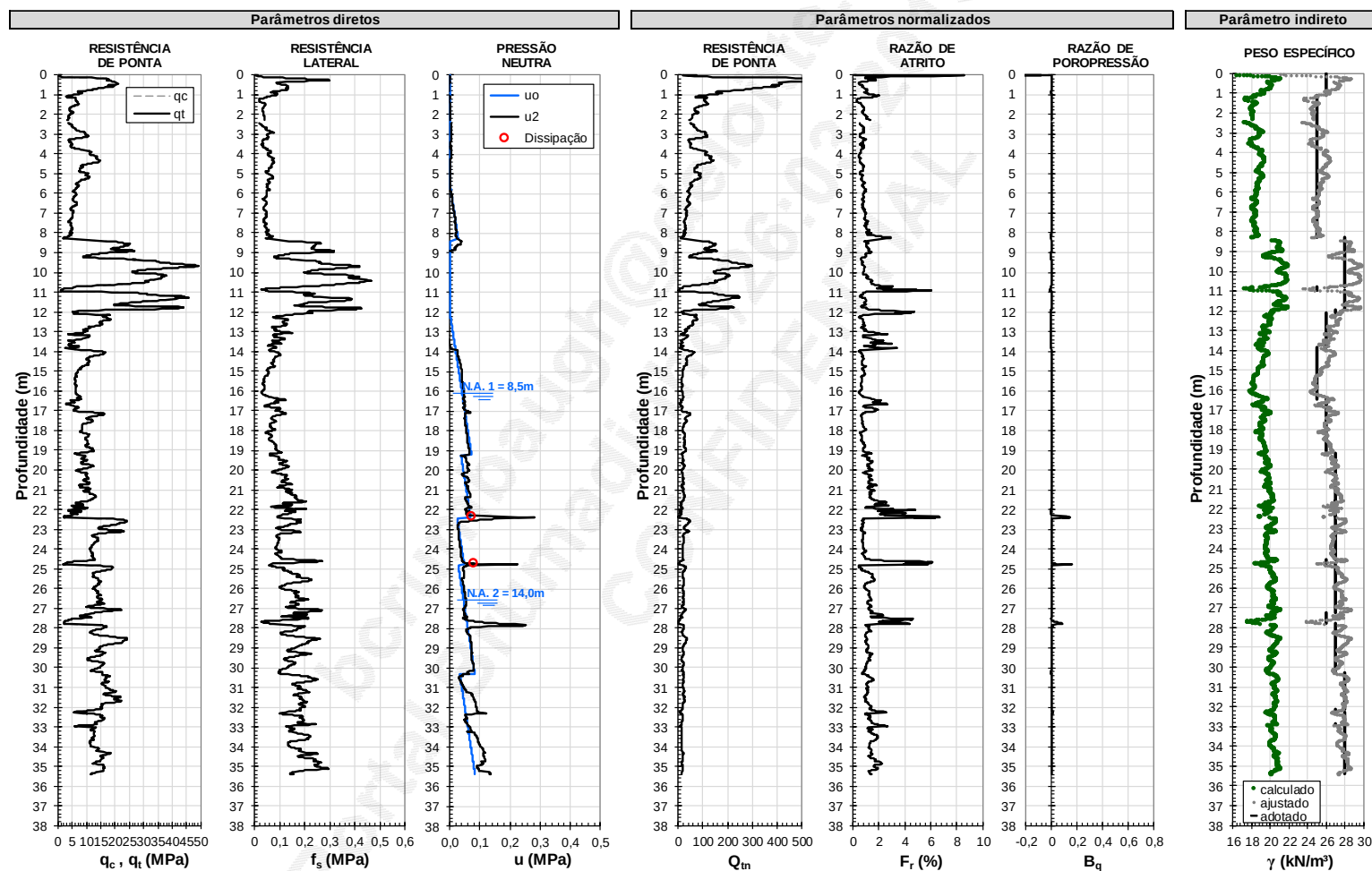
RC-SP-117/17

PÁGINA

244/265

REV.

4



CPTu 2016-07: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

245/265

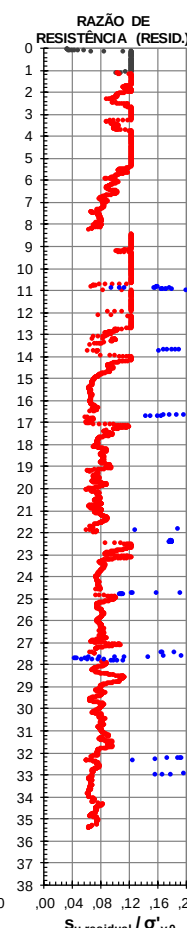
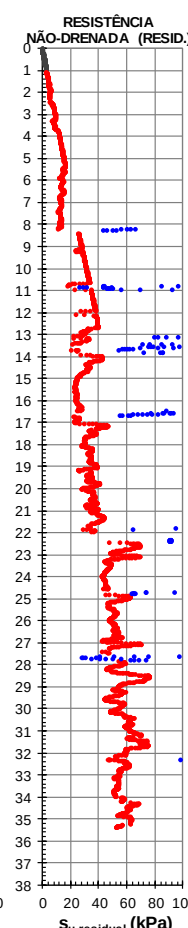
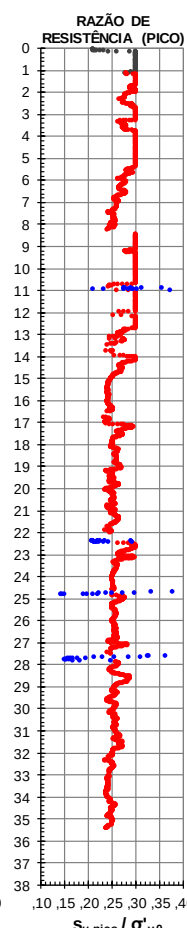
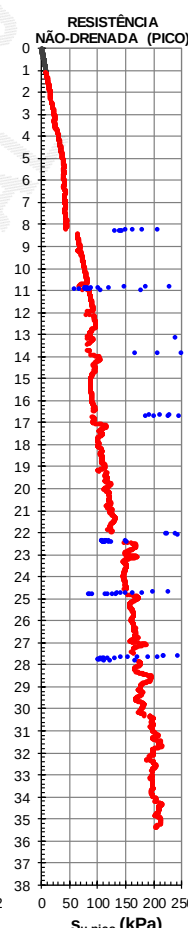
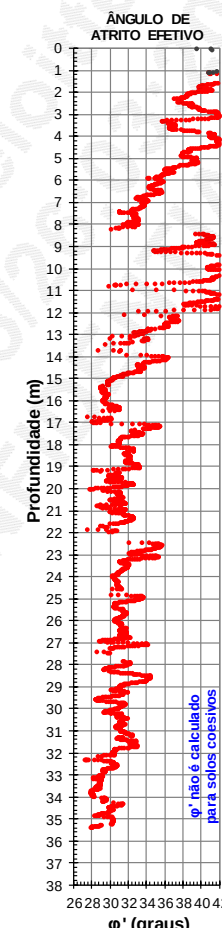
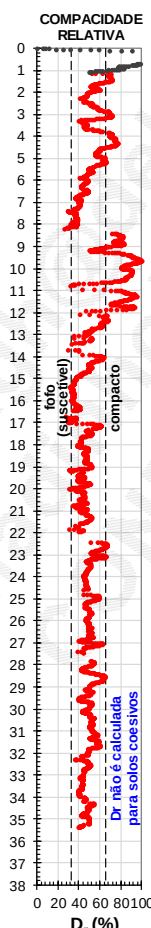
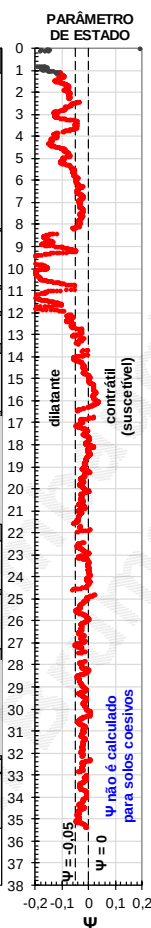
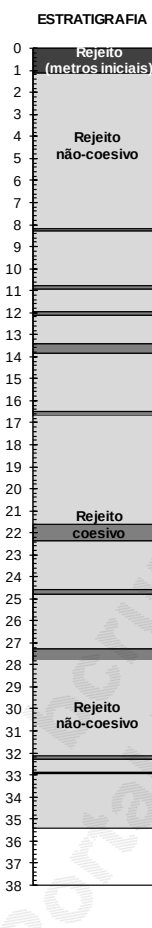
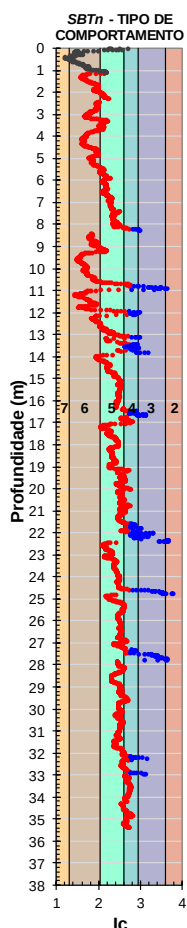
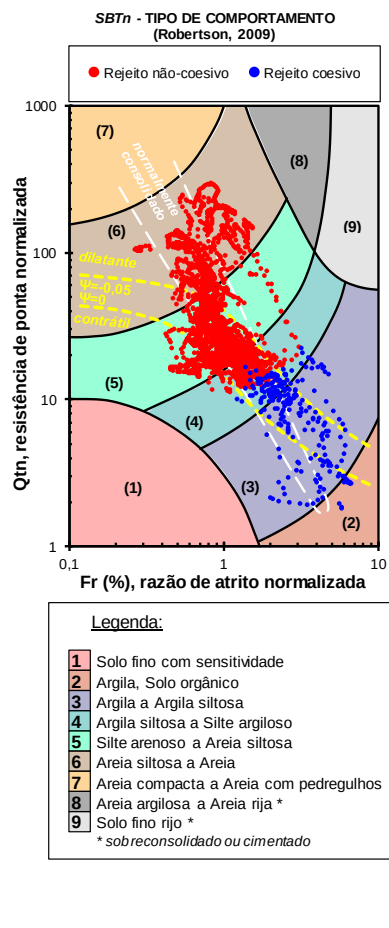
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação



CPTu 2016-07: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

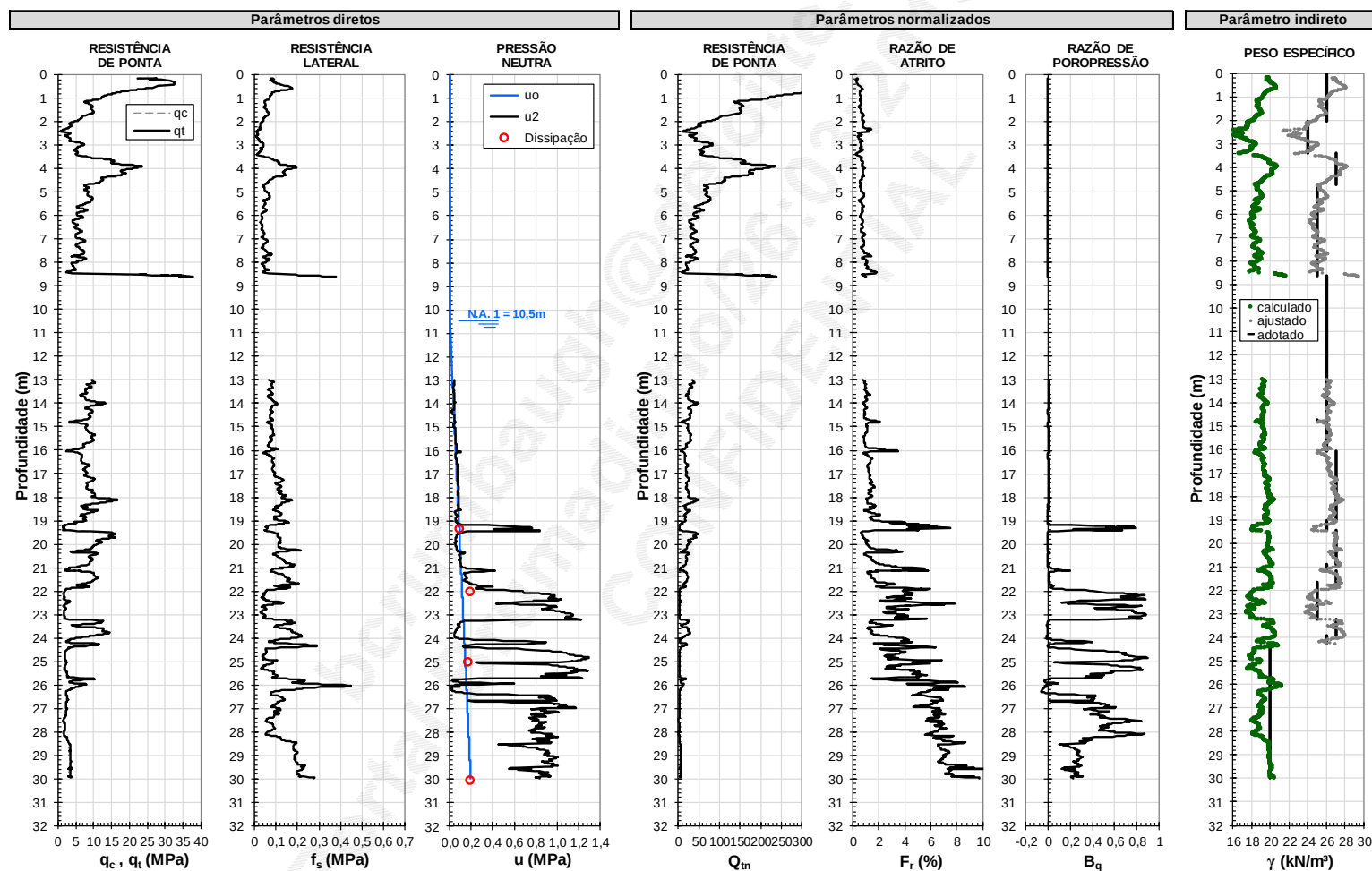
246/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4



CPTu 2016-08: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

247/265

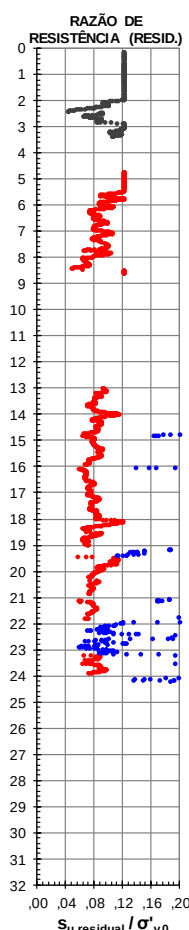
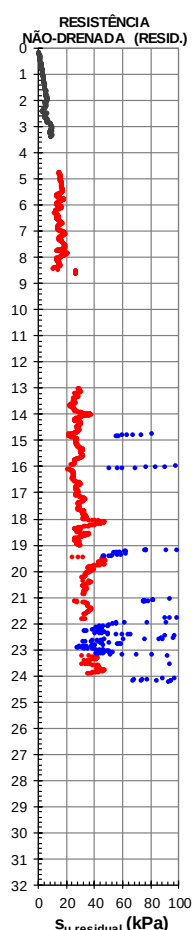
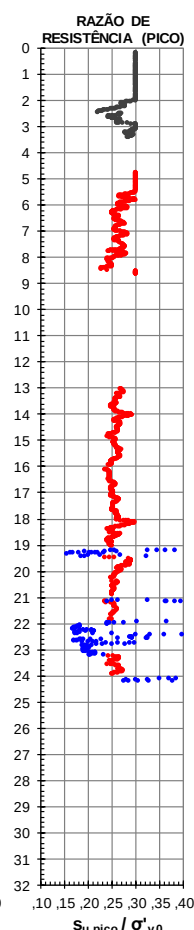
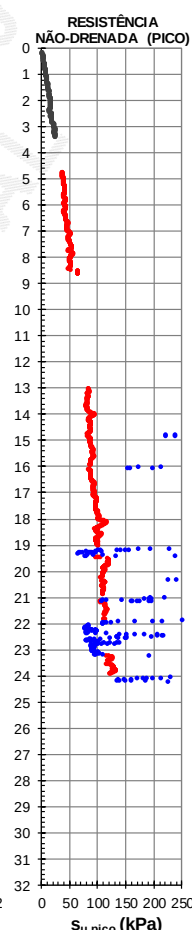
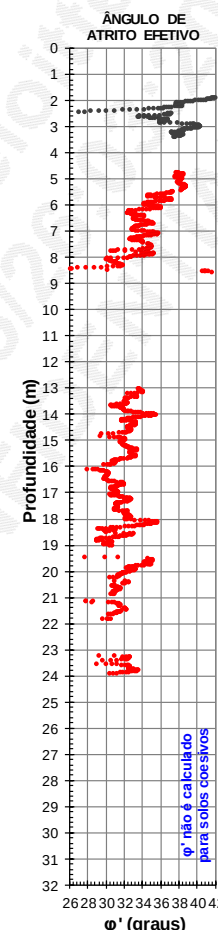
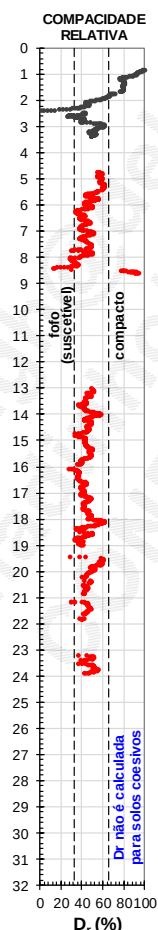
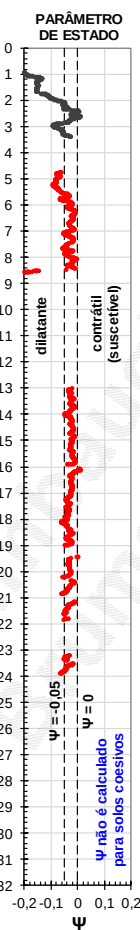
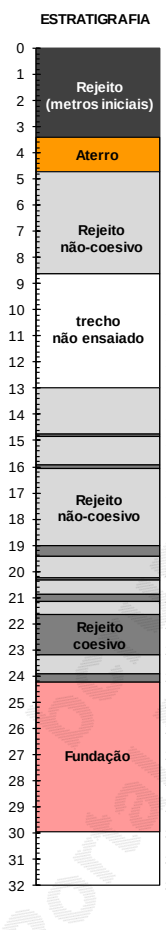
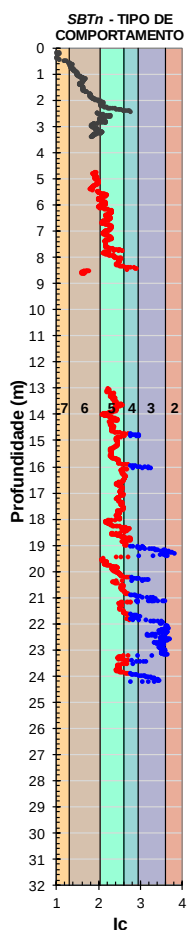
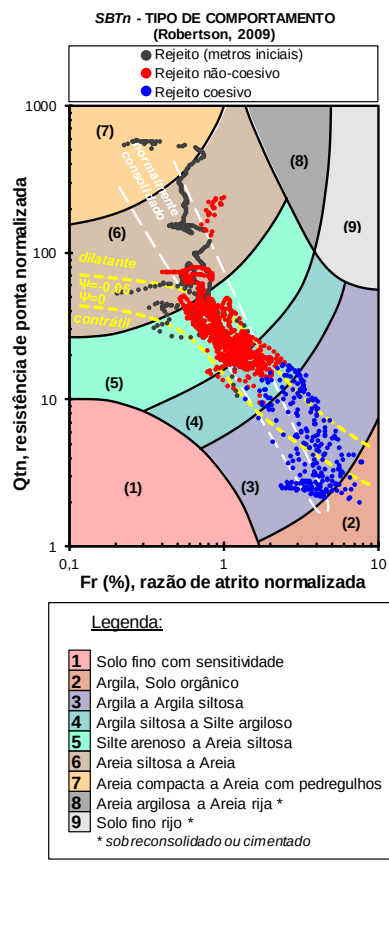
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação



CPTu 2016-08: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

PÁGINA

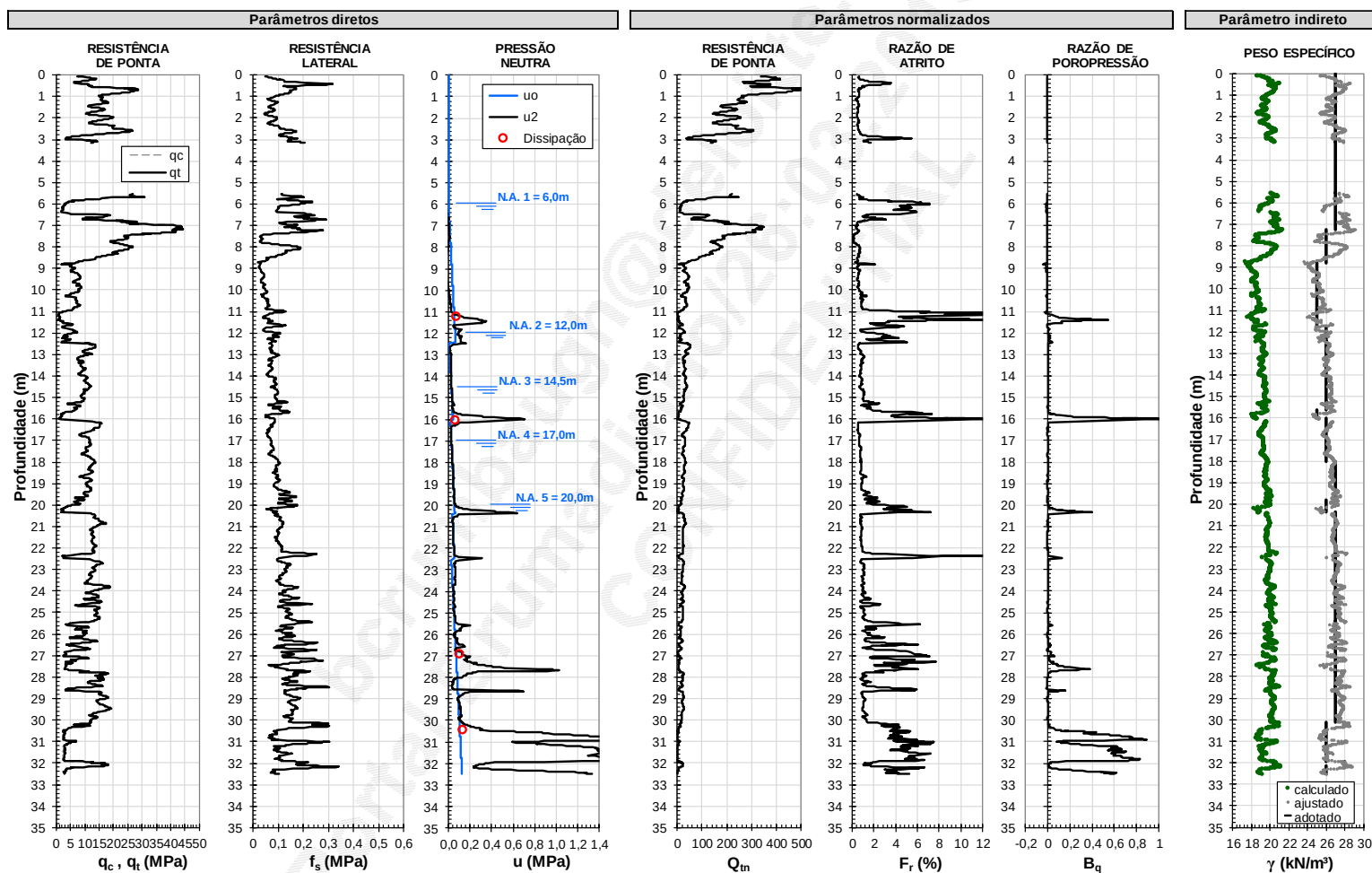
248/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4



CPTu 2016-09: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.



Bureau de Projets

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

249/265

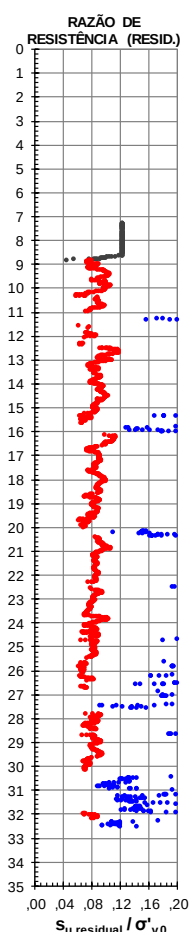
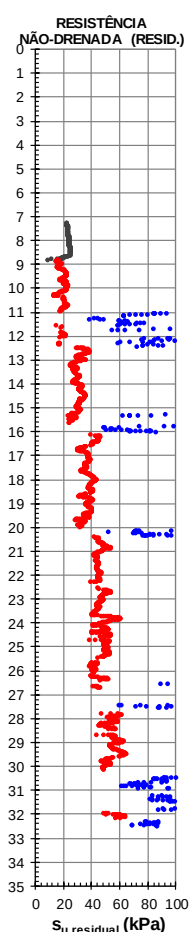
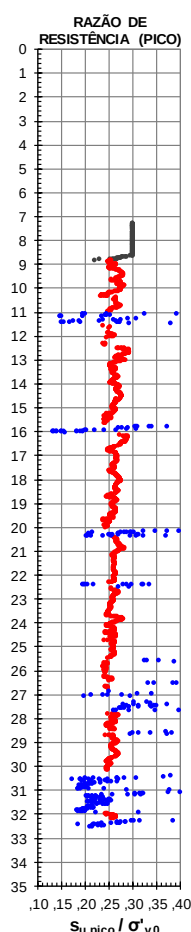
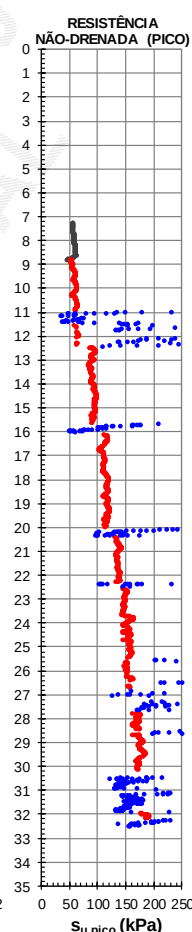
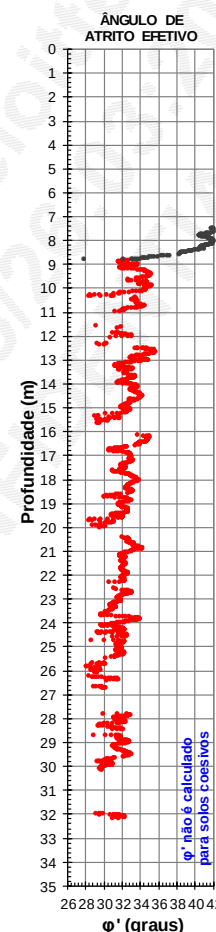
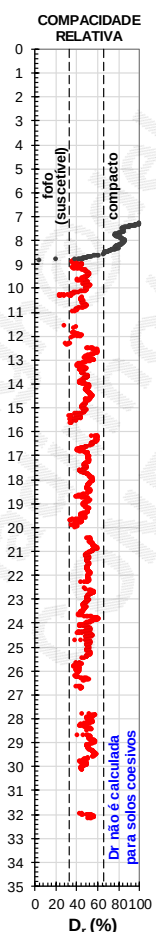
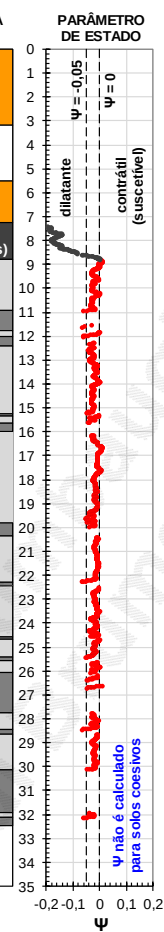
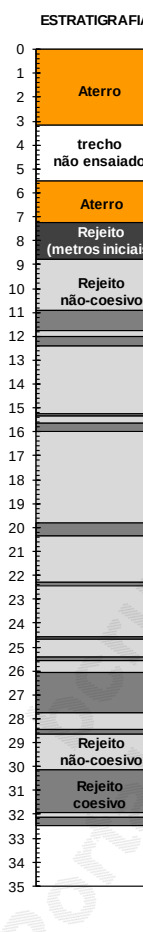
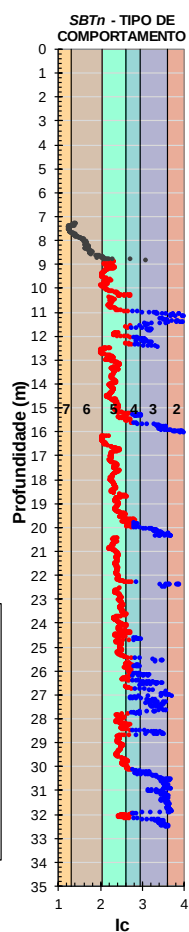
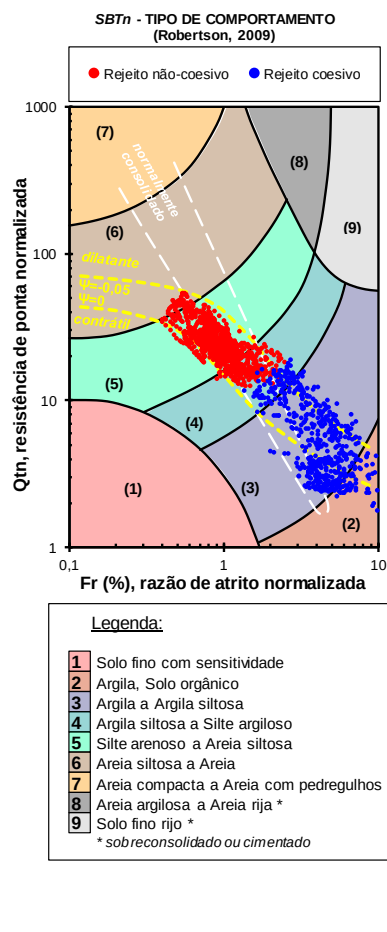
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4

Classificação



CPTu 2016-09: Classificação e resistência ao cisalhamento.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

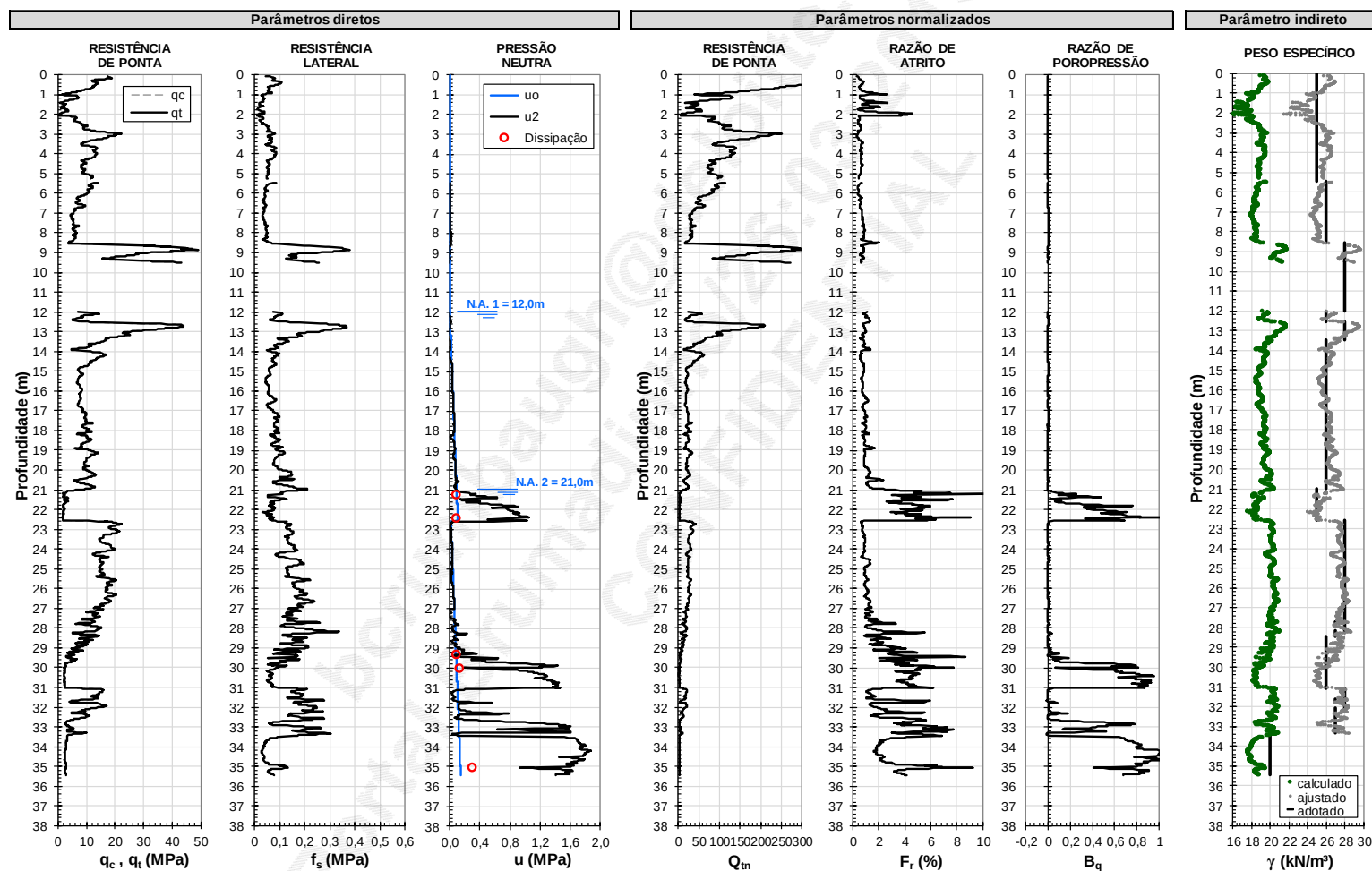
250/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

RC-SP-117/17

4



CPTu 2016-10: Parâmetros diretos, normalizados e indireto.

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

PÁGINA

251/265

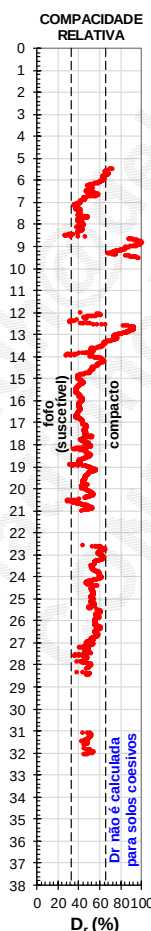
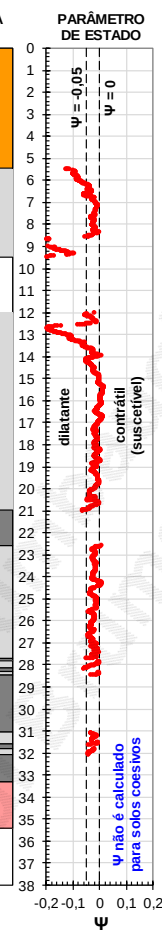
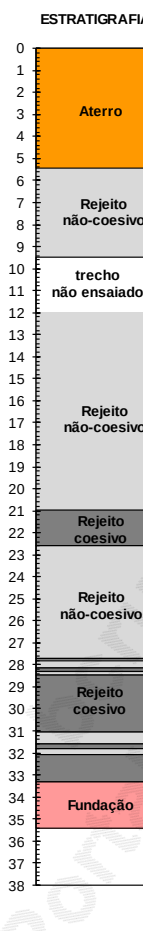
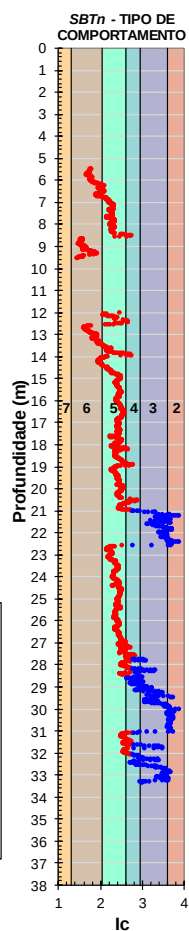
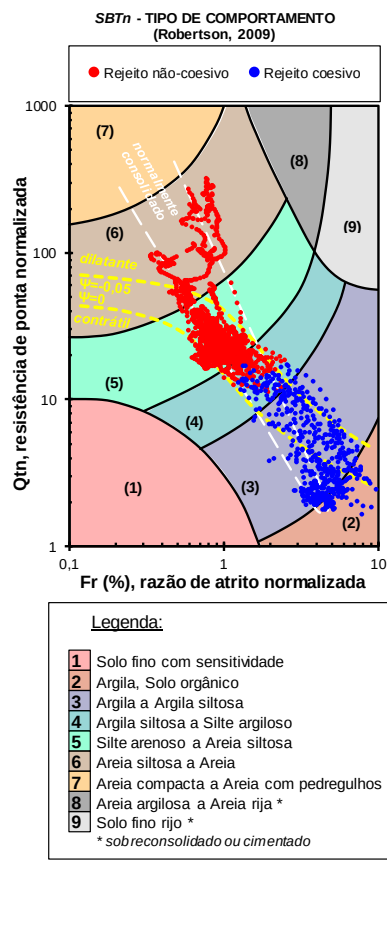
Nº TÜV SÜD BUREAU

REV.

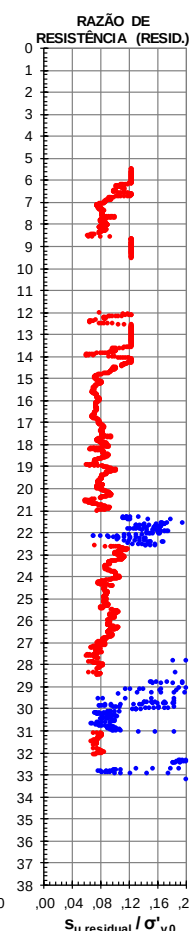
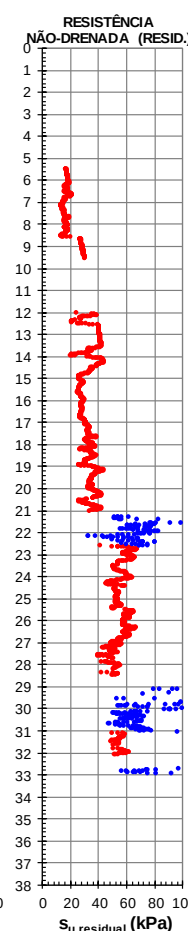
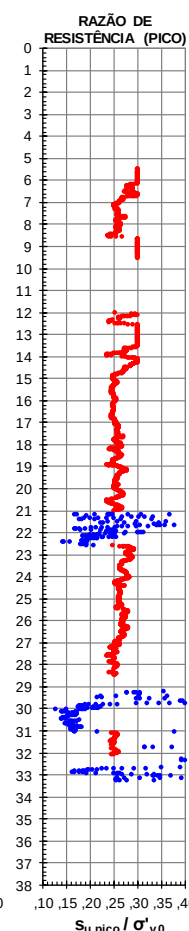
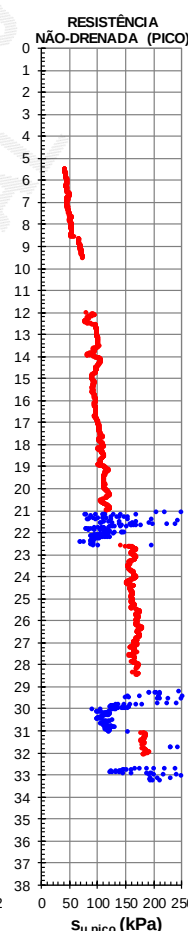
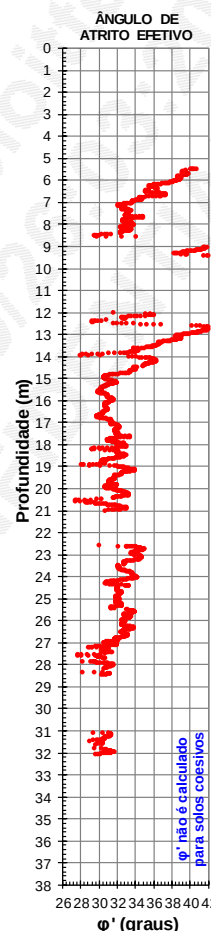
RC-SP-117/17

4

Classificação



Resistência ao cisalhamento



CPTu 2016-10: Classificação e resistência ao cisalhamento.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 252/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

APÊNDICE F

MEDIDAS ADICIONAIS PARA INCREMENTO DA SEGURANÇA DA BARRAGEM

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 253/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Relatório descritivo dos trabalhos de desvio do aporte d'água do reservatório da Barragem I (Doc. [191]):



Sistema de bombeamento atual do reservatório.



Ponto de contribuição de aporte d'água no reservatório (vazão aproximada de 1,17 m³/h).

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 254/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Serviços em andamento para execução do desvio da contribuição de água diretamente para a torre do sistema extravasor da barragem.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 255/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Deplecionamento do lençol freático (Docs. [192], [193] e [194]):

DHP (EXECUTADO) – BARRAGEM I		
CÓDIGO (CAMPO)	ESTE	NORTE
DHP-01	591.867,61	7.775.087,93
DHP-02	591.890,07	7.775.045,20
DHP-03	591.904,70	7.775.022,40
DHP-04	591.762,00	7.775.135,39
DHP-05	591.926,24	7.774.841,98
DHP-06	591.919,18	7.774.998,67
DHP-07	591.923,76	7.774.990,17
DHP-08	592.047,15	7.774.966,07
DHP-09	591.870,35	7.775.309,79
DHP-10	591.827,95	7.775.239,13
DHP-11	591.932,90	7.774.972,84
DHP-12	591.885,54	7.775.064,66
*DHP-13	591.945,40	7.774.951,19

* COORDENADA DE INSTALAÇÃO DEVERÁ SER CONFIRMADA EM CAMPO.

DHP (PROJETADO) – BARRAGEM I		
CÓDIGO (CAMPO)	ESTE	NORTE
DHP-14	591.829,99	7.775.154,28
DHP-15	591.842,49	7.775.132,63
DHP-16	591.854,99	7.775.110,98
DHP-17	591.960,84	7.774.919,91
DHP-18	591.972,47	7.774.897,77
DHP-19	591.984,54	7.774.875,86
DHP-20	591.766,82	7.775.027,07
DHP-21	591.764,92	7.775.003,26
DHP-22	591.774,59	7.774.982,05
DHP-23	591.788,90	7.774.961,08
DHP-24	591.806,38	7.774.943,70
DHP-25	591.823,28	7.774.932,53
DHP-26	591.845,09	7.774.915,99
DHP-27	591.862,93	7.774.897,95
DHP-28	591.883,63	7.774.878,86
DHP-29	591.903,54	7.774.866,44

POÇO DE REBAIXAMENTO – BARRAGEM I		
CÓDIGO (CAMPO)	ESTE	NORTE
POÇO-01	591.975,22	7.775.196,45
POÇO-02	592.014,39	7.775.127,37
POÇO-03	592.049,94	7.775.061,84
POÇO-04	592.083,36	7.775.002,75
POÇO-05	591.814,45	7.775.155,14
POÇO-06	591.832,66	7.775.105,56
POÇO-07	591.854,95	7.775.049,45
POÇO-08	591.907,85	7.774.980,89
POÇO-09	591.937,29	7.774.940,56

Coordenadas dos DHP's existentes e planejados e dos poços planejados.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

PÁGINA

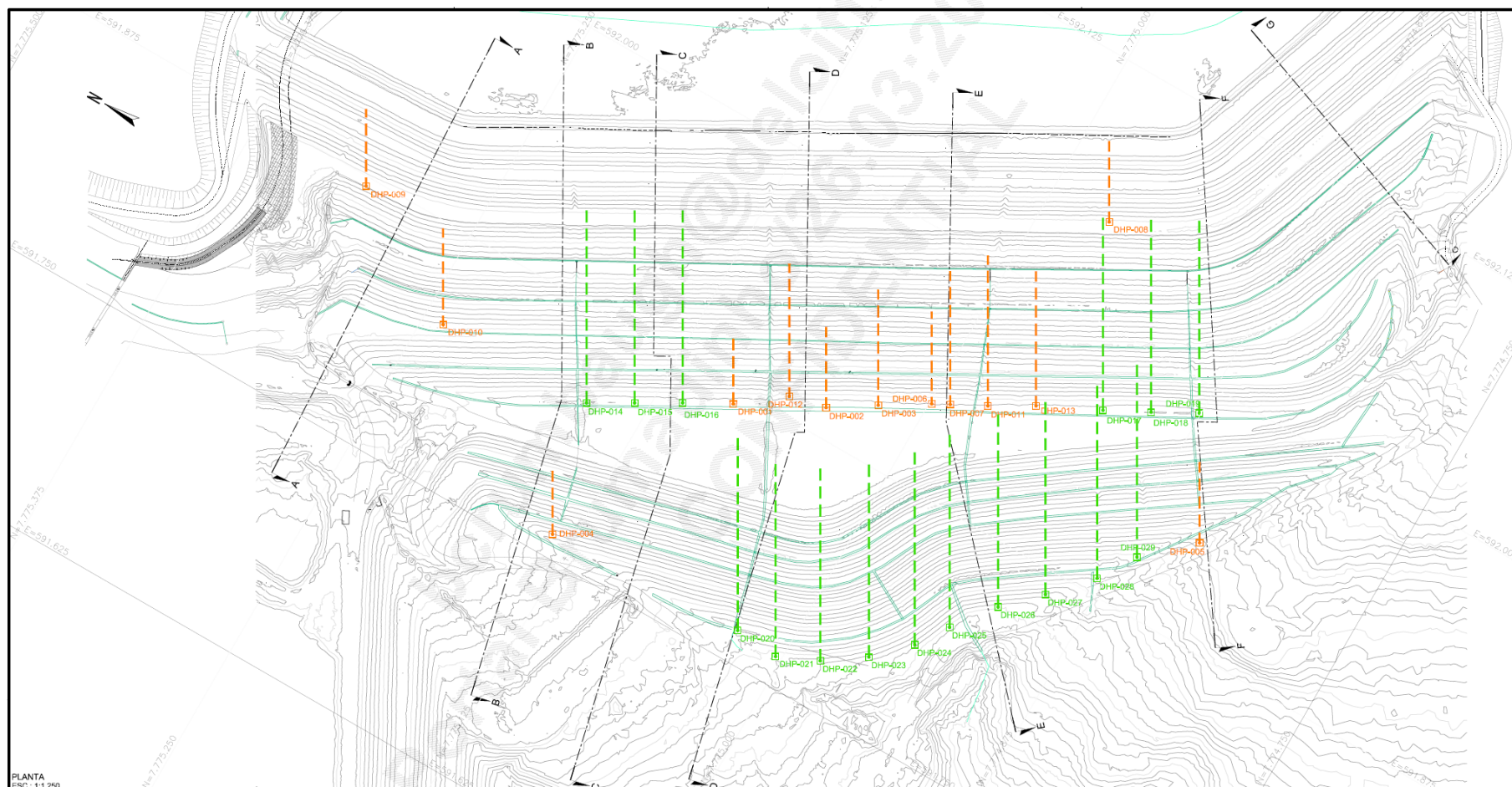
256/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4



Planta de localização dos DHP's existentes e planejados.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

Nº TÜV SÜD BUREAU

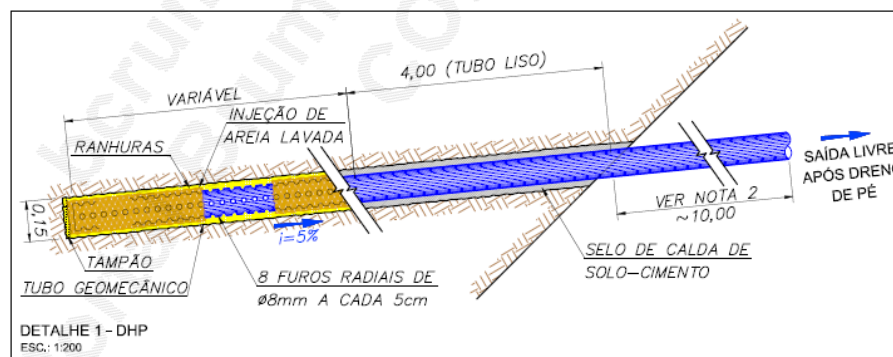
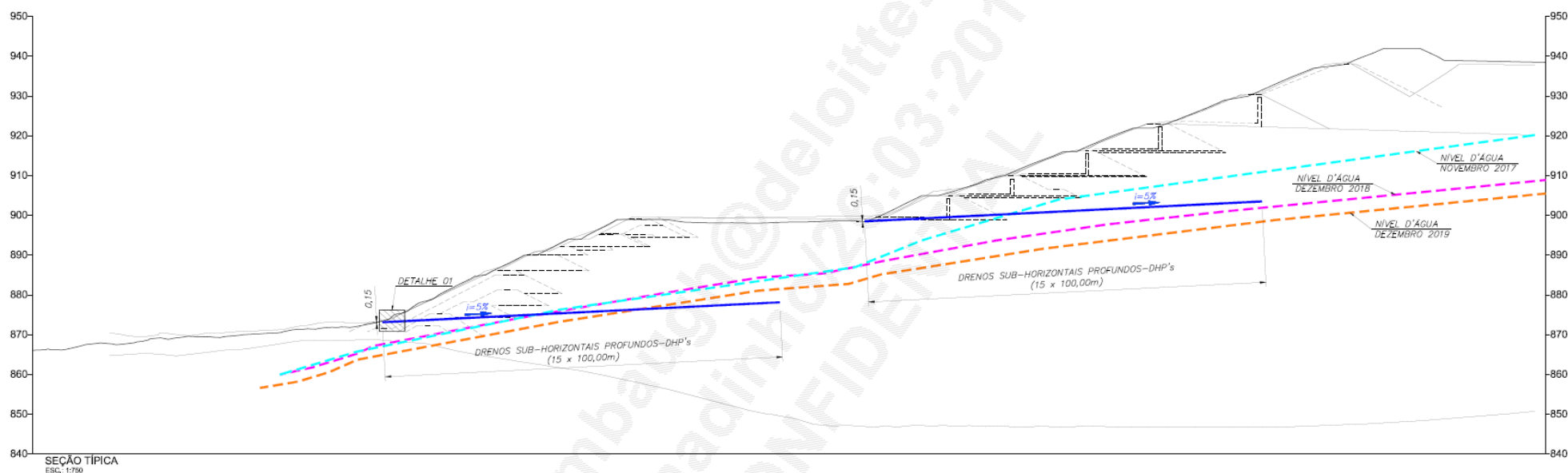
RC-SP-117/17

PÁGINA

257/265

REV.

4



Seção transversal com a localização dos DHP's e detalhe de instalação.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

PÁGINA

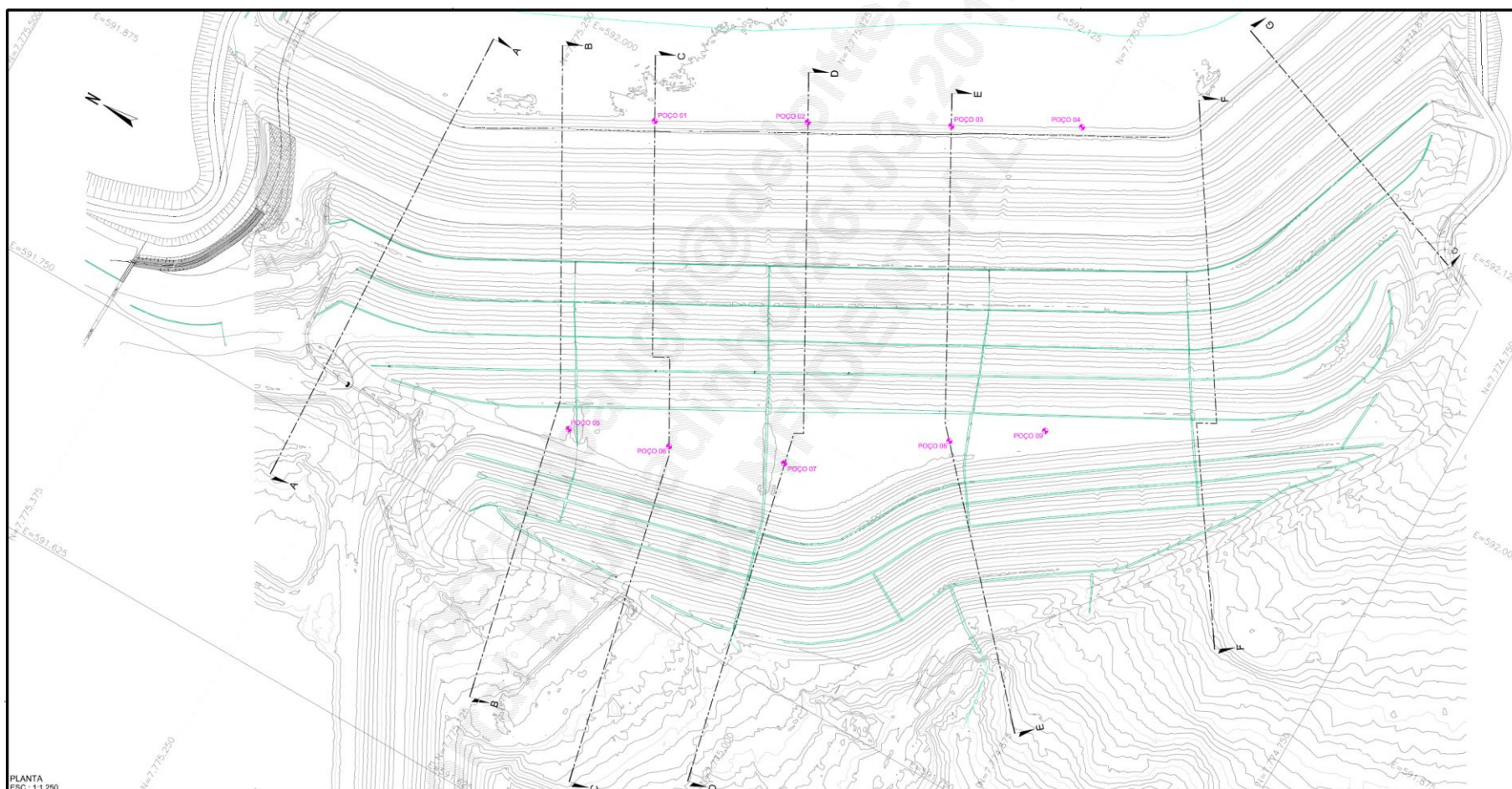
258/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

REV.

4



Planta de localização dos poços de rebaixamento planejados.



Bureau de Projetos

GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS

REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

-

PÁGINA

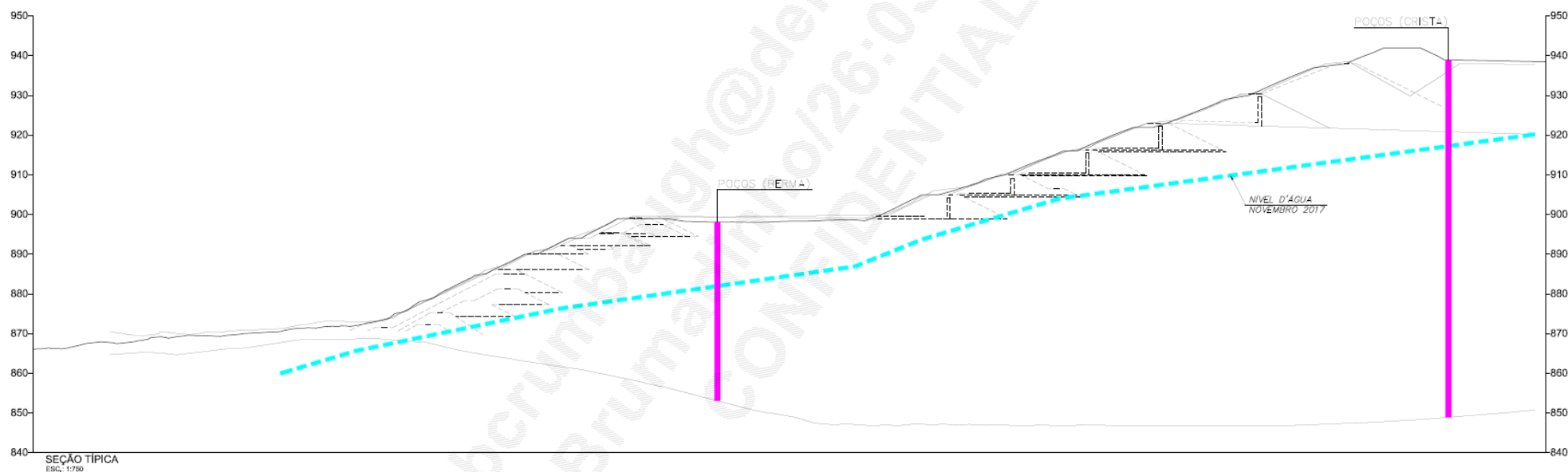
259/265

Nº TÜV SÜD BUREAU

RC-SP-117/17

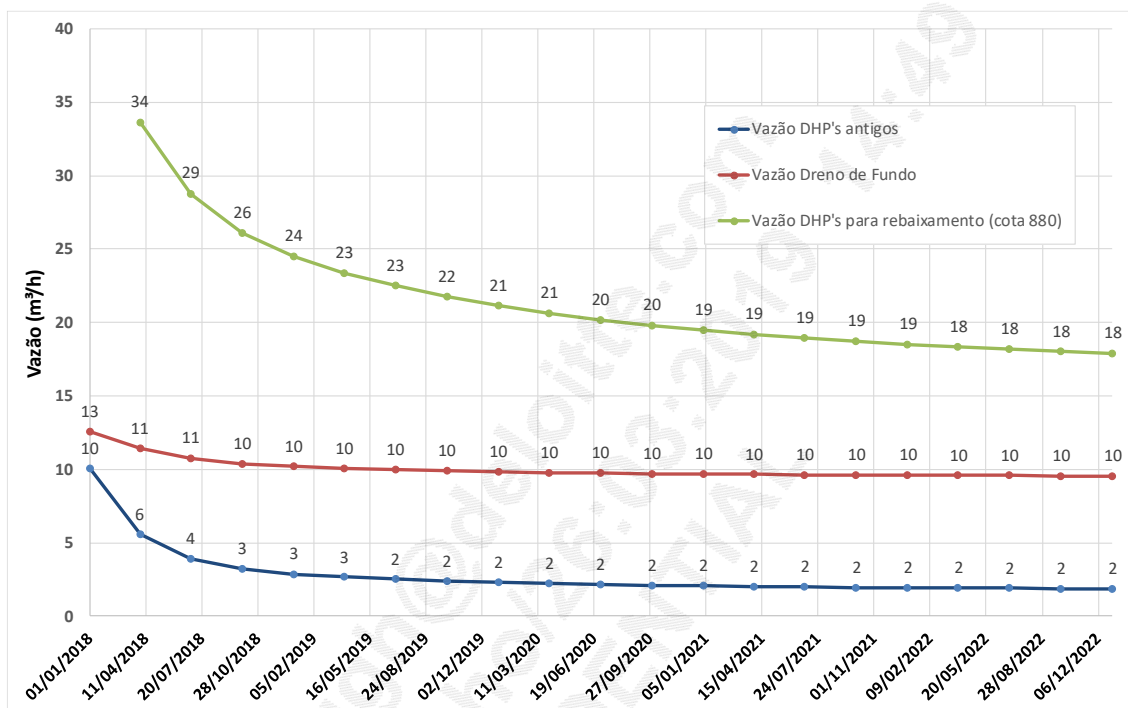
REV.

4



Seção transversal com a localização poços de rebaixamento planejados.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 260/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Simulação da operação dos DHP's.

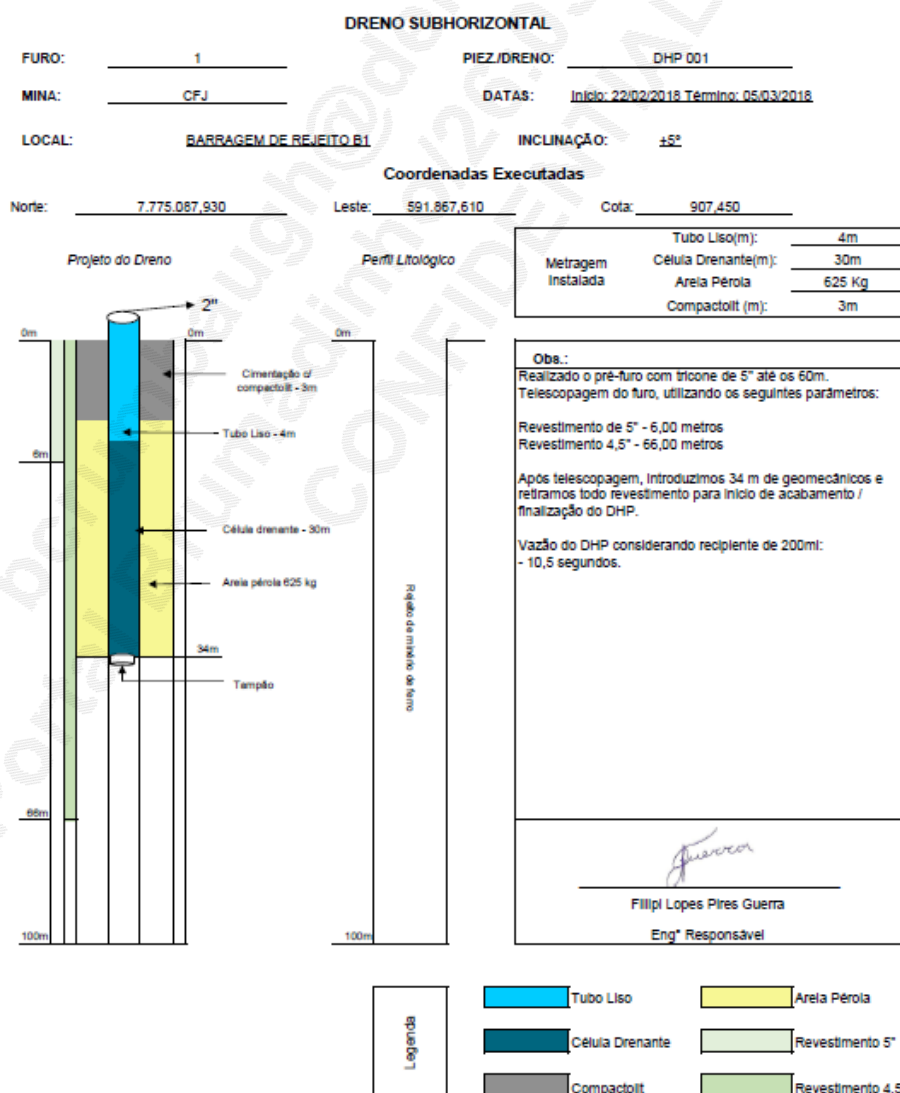


Instalação de tubos ranhurados geomecânicos (2018).

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 261/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Injeção de areia.



Exemplo de relatório de instalação de DHP.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 262/265
		Nº TUV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Monitoramento de deslocamentos por Radar (Doc. [195]):

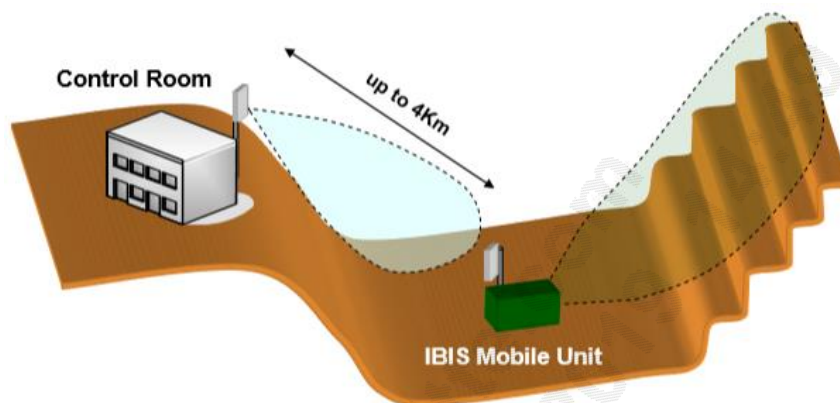


Foto do local de instalação do radar.



Local de instalação do radar.

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 263/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Croquis sobre a forma de instalação do equipamento.

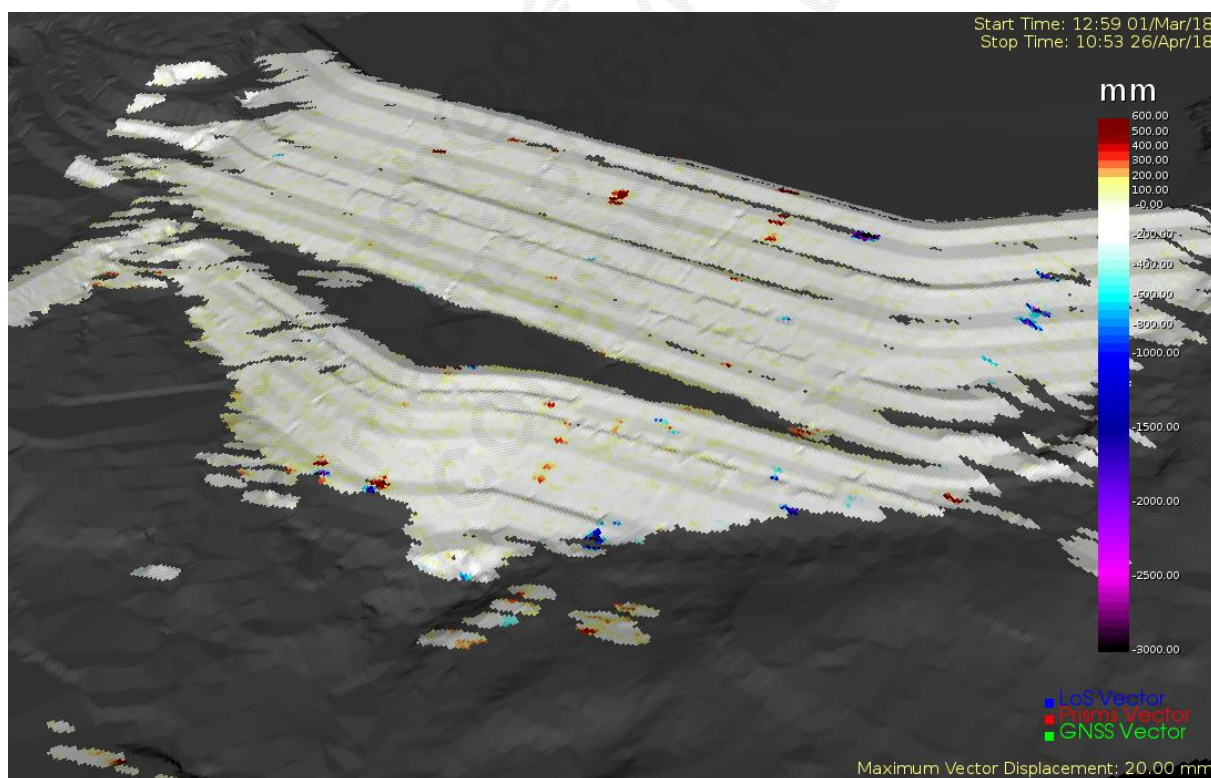


Imagem obtida em TAD (tempo real). Os pontos coloridos indicam deslocamento.

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 264/265
		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4

Remineração do rejeito da Barragem I (Docs. [196] e [197]):



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Recibo de Entrega de Documentos Nº 0748605/2015

Recebemos do empreendedor VALE S.A, estabelecida na MIN DA JANGADA - MINA CÔRREGO DO FEIJÃO, no município de BRUMADINHO, os documentos listados abaixo referente ao processo de LI (LP+LI) COPAM Nº 245/2004/050/2015 SUPRAMCM - Superintendência Regional de Regularização Ambiental Central Metropolitana.

Protocolo	Descrição
748584/2015	Requerimento de licença (conforme modelo emitido pelo site www.semamg.gov.br , anexo ao FOBI).
748586/2015	Declaração original da(s) Prefeitura(s) Municipal(ais) informando que o local e o tipo de instalação estão em conformidade com as leis e regulamentos administrativos do município.(Conforme modelo emitido pelo site www.semamg.gov.br , anexo ao fobi)
748593/2015	Original e cópia para conferência, da publicação em periódico local ou regional, de grande circulação, do requerimento de licença nº,00245/2004.
748594/2015	Cópia e original do comprovante referente ao recibo de emolumento.
748588/2015	Recibo do pagamento - DAE
748583/2015	Procuração ou equivalente, que comprove vínculo com o empreendimento, da pessoa física que assina o FCEI (Quando for o caso).
748585/2015	Coordenadas geográficas de um ponto central do empreendimento em Latitude, Longitude ou em formato UTM.
748590/2015	EIA - Estudos de Impacto Ambiental, com respectiva ART - Anotação de Responsabilidade Técnica quitada, ou equivalente do profissional responsável, contemplando a atividade fim do licenciamento.
748592/2015	PCA - Plano de Controle Ambiental, elaborado conforme novo Termo de Referência (Ver orientações no www.feam.br) e respectiva ART - Anotação de Responsabilidade Técnica quitada, ou equivalente do profissional responsável, contemplando a atividade fim do licenciamento.
641483/2015	FOBI - Formulário de Orientação Básica - Integrado / original
748587/2015	Cópia de comunicação do DNPM julgando satisfatório o PAE - Plano de Aproveitamento Econômico. (Exceto Alvará de Pesquisa, Permissão de Lavra Garimpeira ou Regime de Licenciamento)
748589/2015	Cópia digital, acompanhada de declaração atestando que confere com o original entregue em documento impresso.
748591/2015	RIMA - Relatório de Impacto Ambiental, com respectiva ART - Anotação de Responsabilidade Técnica quitada, ou equivalente do profissional responsável, contemplando a atividade fim do licenciamento.


Adriana Silveira de Mello
BELO HORIZONTE, 04 de Agosto de 2015

VALE S.A.

VALE S.A - MINA CÔRREGO DO FEIJÃO
AVE DE LIGAÇÃO - JARDIM DA TORRE
34000-000 NOVA LIMA

	 Bureau de Projets	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE -	PÁGINA 265/265
		Nº TÜV SÜD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



EIA / PCA – Continuidade das Operações da Mina da Jangada – Mina da Jangada – Brumadinho / Sarzedo - MG



3.8. PROJETO DE RECUPERAÇÃO DE FINOS DA BARRAGEM DE REJEITOS I E VI

A recuperação de rejeitos da Barragem I e VI, visa recuperar os rejeitos (finos de minério de ferro) gerando como produto final o pellet feed fines – PFF. O processo inicia-se pela retomada dos finos da barragem B1, através da operação intitulada como dragagem. Segue-se a um empilhamento do material dragado para que este possa ser drenado e assim transportado. Dependendo das condições de mercado, este material poderá ser comercializado com terceiros, tal como empilhado, ou utilizado na mistura dos produtos produzidos em Feijão ou ainda ser reprocessado

pela Vale. Neste caso, os finos serão processados na atual ITM UMD CFJ sendo que os rejeitos serão bombeados por intermédio de um rejeitoduto projetado paralelamente ao Transportador de Correia de Longa Distância (TCLD) já existente, lançando os rejeitos no interior da cava Córrego do Feijão (cava CFJ) conforme já apresentado no escopo da caracterização do empreendimento

À exemplo dos sistemas de disposição atualmente em funcionamento nas cavas das minas de Mutuca (região metropolitana de BH) e Cauê (Itabira/MG), buscou-se a utilização de parte da cava exaurida de Córrego do Feijão (Cava CFJ) para receber rejeitos gerados pelo beneficiamento dos rejeitos proveniente da Barragem I e VI.

Desta forma estaríamos modificando a finalidade da cava que atualmente serve de lavra para exploração do minério de ferro e propondo a sua utilização como local para disposição dos rejeitos gerados na ITM UMD CFJ, recuperando-se os finos de minério de ferro inseridos no rejeito.

O projeto proposto consta da construção de um sistema de adução de rejeito com uma extensão de 1544,00 m, que irá levar o rejeito da usina de tratamento (ITM UMD CFJ) até um dos bordos da cava, de onde a tubulação seguirá para pontos de. O desnível topográfico total do rejeitoduto a ser vencido da ITM UMD CFJ até a cava é de 185,5 m.

Para a implantação da adutora de rejeito será utilizado um caminho paralelo à correia transportadora TR 14 (TCLD), já existente, evitando-se desta forma, supressão de vegetação.

O projeto contempla ainda um ponto de captação de água e fará a recirculação de água do processo industrial, utilizando a rede de adução dos poços de rebaixamento para retornar a água do processo para a usina através da canaleta de água recuperada existente próxima a cava.

O aproveitamento de água para utilização no processo é uma das principais premissas deste projeto. O projeto de disposição de rejeitos na cava está sendo balizado pelas mais recentes normas técnicas e códigos em vigor no Brasil e no exterior, além de normas técnicas e padrões estabelecidos pela Vale.