

DVG SICAL

RELATÓRIO TÉCNICO DE AUDITORIA DE SEGURANÇA DA BARRAGEM DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E ÁGUAS PLUVIAIS DIQUE D-03

Nº Documento: HBR181-22-SICAL-REL001		Nº Contrato/Lote: HBR 181-22		
0	06/03/23	EMISSÃO INICIAL	LBM	MBA
Rev.	Data	Descrição da Revisão	Elaborado por	Aprovado por

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
1.1	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	5
1.2	IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR.....	6
1.3	IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	7
1.4	ENDEREÇO PARA ENVIO DE CORRESPONDÊNCIA.....	7
1.5	IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDIMENTO	7
1.6	IDENTIFICAÇÃO DO AUDITOR	8
1.7	IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE DE AUDITORIA EXTERNA.....	8
1.8	EQUIPE TÉCNICA INTERNA DO EMPREENDIMENTO.....	9
2	DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA.....	9
3	CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM.....	12
3.1	ASPECTOS GEOLÓGICOS	12
3.1.1	GEOLOGIA REGIONAL	12
3.1.2	GEOLOGIA LOCAL.....	16
3.1.3	GEOTECNIA DA BARRAGEM.....	22
3.2	GEOMETRIA E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	23
3.3	SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA	26
3.4	SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL	26
3.5	SISTEMA EXTRAVASOR.....	26
3.6	SISTEMA DE MONITORAMENTO E AUSCULTAÇÃO	26
4	AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA.....	27
5	RESUMO DOS ESTUDOS ANTERIORES.....	30
5.1	MAPA DE INUNDAÇÃO - 2018	30
5.2	PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM - 2019.....	31
5.3	MONITORAMENTO DA VARIAÇÃO DA LÂMINA D'ÁGUA NO INTERIOR DO RESERVATÓRIO DO DIQUE D-03 – 2021.....	34
5.4	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR – 04/2021 34	
5.5	RELATÓRIO DE VISITA AUDITORIA TÉCNICA – 10/2022	35

6	INSPEÇÃO DE CAMPO	36
6.1	ACESSO	36
6.2	CRISTA	37
6.3	OMBREIRA ESQUERDA	39
6.4	OMBREIRA DIREITA	40
6.5	TALUDE MONTANTE	42
6.6	TALUDE JUSANTE	43
6.7	SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL	45
6.8	RESERVATÓRIO	47
6.9	INSTRUMENTAÇÃO	48
6.10	RESUMO DAS PRINCIPAIS ANOMALIAS IDENTIFICADAS	48
7	RECOMENDAÇÕES E PLANO DE AÇÕES	50
8	AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA	52
8.1	Critérios e premissas adotados	53
8.2	Chuva de Projeto	54
8.3	Curva Cota-Área-Volume	59
8.4	Drenagem Superficial	62
9	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO REJEITO	63
9.1	INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO GEOTÉCNICAS	63
10	MODOS DE FALHA	63
10.1	GALGAMENTO	63
10.2	EROSÃO INTERNA (PIPING)	64
11	ANÁLISE DE ESTABILIDADE	65
11.1.1	Metodologia	65
11.1.2	Parâmetros de Resistência dos Materiais	69
11.1.3	Geometria e Seção	70
11.1.4	Linha Freática Adotada	72
11.1.5	Sismo máximo provável	72
11.1.6	Análises de Estabilidade	77
11.1.7	Resultados	88
12	CARTA DE RISCO	89
13	SEGURANÇA OPERACIONAL	90

14	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
15	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	94
16	ANEXOS.....	96
	ANEXO I – CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL – FEAM	96
	ANEXO II – RELATÓRIO TÉCNICO FOTOGRÁFICO.....	102
	ANEXO III – DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE DA BARRAGEM.....	107
	ANEXO IV – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA.....	109

1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta o Relatório de Auditoria Técnica de Segurança da Barragem Dique D-03, de propriedade da DVG Sical, situada no município de Belo Horizonte, MG.

O documento é elaborado em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo Governo do Estado de Minas Gerais e cumpre exigência legal estabelecida nos seguintes regulamentos:

- a) Lei Estadual 23291 – 25/2/2019 - Art. 17º. Auditoria Técnica;
- b) Decreto 48140 – 25/2/2021 – Art. 5º, 7º. e 8º, 10º. Classificação da barragem;
- c) Termo de Referência FEAM – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – RTSB. Disponibilizado em 2020

A análise também se baseia na inspeção visual de campo, realizada pela equipe da HIDROBR Soluções Integradas junto à equipe da DVG Sical no dia 22 de outubro de 2022, na análise de documentos de projeto e notas técnicas disponibilizadas pelo empreendedor, além de estudos de estabilidade, para os vários modos de ruptura possíveis.

1.1 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Tabela 1-1: Documentos de Referência

Documento	Descrição	Autor	Ano
Mapa_Inundação	Mapa de Inundação da Barragem de Contenção de Águas Pluviais Dique D-03	BMS Serviços de Mineração	05/2018

PSB_Revisão_01-19	Plano de Segurança da Barragem de Contenção de Sedimentos e Águas Pluviais Dique D-03	BMS Serviços de Mineração	05/2019
Registro_fotográfico_D-03_Ciclo_4_Set-20_Ago-21	Monitoramento da Variação da Lâmina D'água no Interior do Reservatório do Dique D-03	BMS Serviços de Mineração	08/2021
RISR 2022_Declaração_condição_estabilidade_D-03 – Abril-2022	Relatório de Inspeção de Segurança Regular	BMS Serviços de Mineração	04/2022
HBR181-22-SICAL-Aud.Barragem-REL001_R1	Relatório de Visita Técnica – Barragem de Contenção de Sedimentos e Águas Pluviais Dique D-03	HIDROBR Soluções Integradas	12/2022

1.2 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

O empreendedor legal sobre o Dique D-03 é a DVG – Indústria de Concreto Celular, localizada na Serra do Jatobá, em Belo Horizonte, Minas Gerais. Na Tabela 1-2 são apresentadas as demais informações referentes às identificações do empreendedor.

Tabela 1-2: Identificação do empreendedor.

Empreendedor	DVG Indústria de Concreto Celular LTDA
Nome Fantasia	-
CNPJ	34.651.228/0001-63
Endereço	Via Geraldo Dias, Km 2,8, Serra do Curral, Belo Horizonte / MG CEP: 30628-260
Telefone	(31)3019-1600
E-mail	hudson.oliveira@dvgsical.com.br

1.3 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Tabela 1-3: Identificação do Empreendimento.

Nome ou razão social	DVG Indústria de Concreto Celular LTDA
Nome Fantasia	-
CNPJ	34.651.228/0001-63
Licenciamento ambiental na esfera municipal - Processo Administrativo	01-070.317/07-99
Endereço	Via Geraldo Dias, Km 2,8, Serra do Curral, Belo Horizonte / MG CEP: 30628-260
Telefone	(31)3019-1600
E-mail	hudson.oliveira@dvgsical.com.br

1.4 ENDEREÇO PARA ENVIO DE CORRESPONDÊNCIA

Tabela 1-4: Endereço para envio de correspondência

Destinatário	Hudson Oliveira
Vínculo com a empresa	Gerente Operacional
Endereço	Via Geraldo Dias, Km 2,8, Serra do Curral, Belo Horizonte / MG CEP: 30628-260

1.5 IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDIMENTO

Tabela 1-5: Identificação do Representante Legal

Nome	Éder Ferreira Campos Filho
CPF	349.378.546-15
Função	Diretor

Telefone	(31) 3019-1600
E-mail	eder.campos@dvgsical.com.br

1.6 IDENTIFICAÇÃO DO AUDITOR

Tabela 1-6: Dados do auditor

Nome do auditor	Marcelo Bruno da Silva Amaral
CPF	012.003.446-85
Formação	Engenheiro Civil Geotécnico
CREA	112311
Telefone	(31) 3504-2733
E-mail	marcelo.amaral@hidrobr.com

1.7 IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE DE AUDITORIA EXTERNA

- Camila Ebbers Fabiani Giantomaso (Engenheira Civil Hidróloga): Relatório Técnico de Segurança de Barragem, Análises e Estudos Hidrológicos;
- João Paulo Costa Andrade (Engenheiro Civil Hidrólogo): Relatório Técnico de Segurança de Barragem, Análises e Estudos Hidrológicos;
- Letícia Scarlett Frade Lima (Engenheira Ambiental): Relatório Técnico de Segurança de Barragem, Análises e Estudos Hidrológicos;
- Lucas Bragança Marques (Geólogo Geotécnico): Relatório Técnico de Segurança de Barragem, Análises e Estudos de Estabilidade;
- Marcelo Bruno Amaral (Engenheiro Civil Geotécnico): Relatório Técnico de Segurança de Barragem e Visita técnica, Declaração da Condição de Estabilidade;
- Marina Costa (Engenheira Civil Geotécnica): Relatório Técnico de Segurança de Barragem e Visita técnica.

1.8 EQUIPE TÉCNICA INTERNA DO EMPREENDIMENTO

Tabela 1-7: Equipe técnica interna do empreendimento

FUNÇÃO NO PAE	NOME	QUALIFICAÇÃO TÉCNICA	TELEFONE
Relações públicas, comunicações e acionamento de autoridades competentes.	Eder Ferreira	Diretor	(31) 3079-1621
Manter a organização do arquivo de informações do Dique D-03. Na ausência do responsável técnico, realizar os registros fotográficos semanais das condições de enchimento do reservatório. Acionar o Superintendente da Unidade e o Responsável técnico em caso de ocorrência relevante.	Hudson Rodrigues Saldanha	Gerente Operacional / Coordenador do PAE	(31) 3079-1622
Fiscalizar a execução das obras de manutenção conforme orientação do responsável técnico. Realizar inspeções de verificação das condições de segurança da estrutura após eventos pluviométricos extremos. Comunicar qualquer ocorrência ao Coordenador do PAE.	Flaviano Gomes de Jesus	Colaborador	-

2 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

A Barragem Dique D-03 está localizada na Serra do Jatobá, município de Belo Horizonte, Minas Gerais. A estrutura tem objetivo de conter sedimentos carregados pelas águas pluviais escoadas pelo sistema de drenagem da área da Mina da Serra do Jatobá, de forma a impedir que estes alcancem um dos afluentes do Córrego Jatobá. Na Tabela 2-1 são apresentadas as demais informações referentes a estrutura.

Tabela 2-1: Descrição da estrutura

Nome da estrutura	Barragem de Contenção de Águas Pluviais – Dique D-03
Localização	Belo Horizonte - MG
Latitude	20°01'31,01" S
Longitude	44°00'48,68" O
Datum	SIRGAS 200
Finalidade da Barragem	Conter sedimentos carregados pelas águas pluviais escoadas pelo sistema de drenagem da área da Mina da Serra do Jatobá, de forma a impedir que estes alcancem um dos afluentes do Córrego Jatobá
Ano de início de implantação	1997
Ano de início de operação	1997
Status de operação atual	Em operação
Volume atual do reservatório	Seco
Capacidade do reservatório (m³)	10.450,12
Área do reservatório (m²)	3.500
Elevação do terreno natural no ponto baixo do barramento (m)	1.117
Altura atual da barragem (m)	14,00
Altura final prevista no projeto para a barragem (m)	14,00
Curso d'água interceptado	Não
Classificação de categoria de risco - CRI	28
Dano Potencial Associado - DPA	7

Na Figura 2.1 é apresentada a localização da Mina da Serra do Jatobá e na Figura 2.2 é indicada a Barragem Dique D-03.

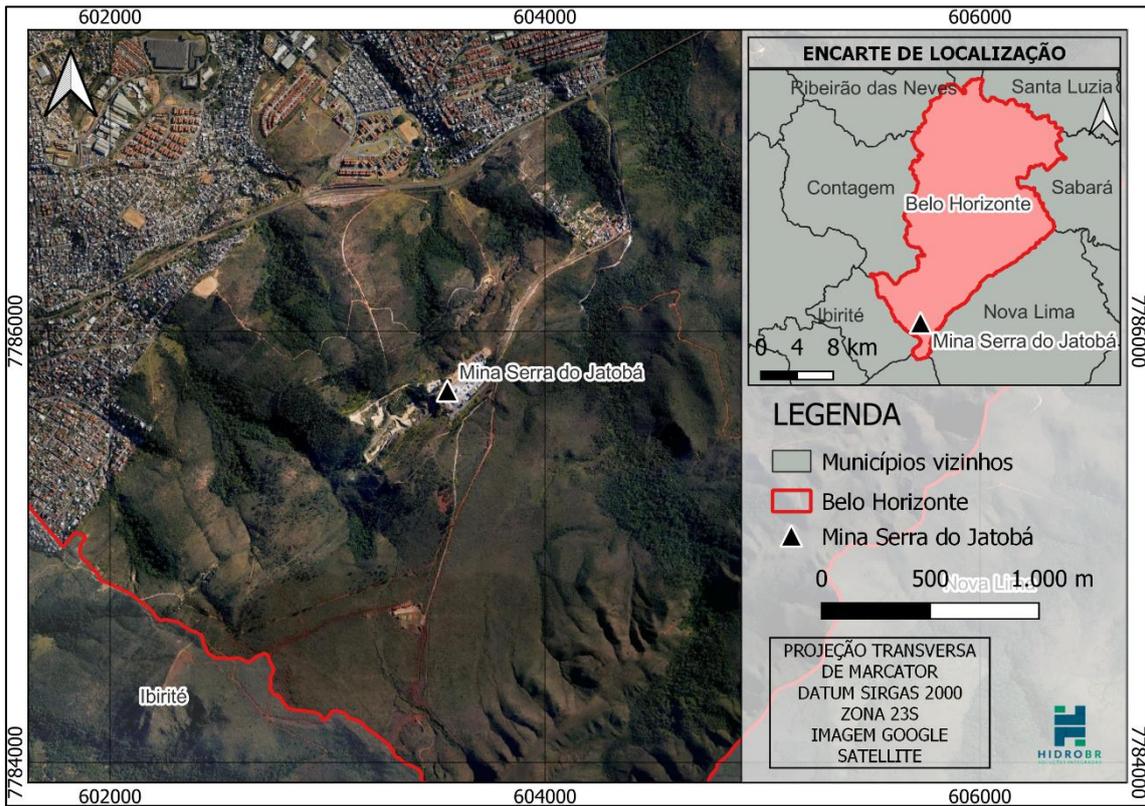


Figura 2.1: Localização Mina Serra do Jatobá



Figura 2.2: Localização da Barragem Dique D-03

3 CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM

3.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Os estudos geológicos apresentados neste capítulo foram elaborados em escala regional e local.

3.1.1 GEOLOGIA REGIONAL

A área do empreendimento situa-se na região sudeste de Minas Gerais, nos domínios da Província Geotectônica São Francisco, e integra parte do Quadrilátero Ferrífero. A geologia é constituída por um terreno granito-greenstone arqueano cujo segmento ocidental apresentou uma maior estabilidade tectônica a partir do Paleoproterozóico (Cráton do São Francisco), enquanto a porção oriental encontra-se deformada por um grande número de escamas cristalinas de empurrão brasileiras (Faixa Móvel Araçuaí).

A infraestrutura plutônica é representada por grandes domos de ortognaisses predominantemente graníticos (a tonalíticos), submetidos a condições de metamorfismo de grau médio e que constituem os complexos Belo Horizonte, Caeté e Granito-Gnáissico-Migmatítico.

Os domos granito-gnáissicos encontram-se aureolados por rochas metavulcano-sedimentares do Grupo Nova Lima e subordinadamente do Grupo Maquiné, constituindo o greenstone belt Rio das Velhas, metamorfozido nas fácies xisto-verde a anfibolito. O Grupo Nova Lima compreende quatro domínios (e várias unidades): vulcânico máfico (Ouro Fino), vulcano-sedimentar químico (Morro Vermelho), vulcanoclástico félsico (Mestre Caetano e Ribeirão Vermelho) e sedimentar (Córrego do Sítio e Mindá).

O Supergrupo Minas, de idade paleoproterozóica, constitui uma cobertura metassedimentar depositada em ambiente continental fluvial distal a plataforma metamorfozada na fácies xisto-verde e está representado pelos grupos Caraça

(metaconglomerados, quartzitos e filitos), Itabira (formações ferríferas bandadas e dolomitos), Piracicaba (metassedimentos clásticos e carbonáticos) e Sabará (metassedimentos areno-pelíticos e alguma formação ferrífera).

As sequências de cobertura (predominantemente quartzíticas e metaconglomeráticas) observadas no rifte proterozóico do Espinhaço são representadas pelo Supergrupo Espinhaço (formações Galho do Miguel, Sopa-Brumadinho e Cambotas).

O Supergrupo São Francisco (Neoproterozóico) compreende duas unidades litoestratigráficas: os grupos Macaúbas e Bambuí. O primeiro é constituído de psefitos com matriz grauvaquiana, filitos e quartzitos. O Grupo Bambuí é constituído de rochas sedimentares ou epimetamórficas correspondentes às formações Sete Lagoas (membros Pedro Leopoldo e Lagoa Santa) e Serra de Santa Helena. O Membro Pedro Leopoldo (detrítico-químico) representa um ciclo transgressivo, enquanto o Membro Lagoa Santa corresponde a uma sequência química de ambiente plataformal, com zonas de infra e supramaré, em sistema progradante. A Formação Serra de Santa Helena, constituída de metapelitos e lentes carbonáticas, foi depositada num ambiente marinho sublitorâneo e relativamente profundo.

Rochas básicas ocorrem desde o Proterozóico até o Mesozóico, algumas porfíricas e evidenciando fases distensivas da crosta continental. Depósitos cenozóicos (aluviões e terraços sedimentares) são encontrados ao longo do rio das Velhas.

O evento deformacional mais marcante corresponde a um cisalhamento contracional de baixo ângulo, de natureza dúctil e com esforços dirigidos de E para W. Através de deformação progressiva, envolve sistemas de cisalhamento como Caeté, Ribeirão da Prata, Córrego do Garimpo (envolvendo embasamento) e Fundão, que dão o modelado estrutural dessa parte do Quadrilátero Ferrífero.

No embasamento ocorrem zonas de cisalhamento verticalizadas e dúcteis (N-S), caracterizadas como Traíras, Ravena e Morro Alto.

Os principais bens minerais da região são: ferro proveniente dos itabiritos do Grupo Itabira (Formação Cauê); ouro associado ao Grupo Nova Lima; dolomitos da Formação Gandarela; calcários da Formação Sete Lagoas; gnaisses do Complexo Belo Horizonte; areia explorada ao longo dos rios das Velhas e Taquaraçú, e do ribeirão da Mata; quartzitos meteorizados do Supergrupo Espinhaço.

A Figura 3.1 apresenta o mapa com a geologia regional da área estudada.

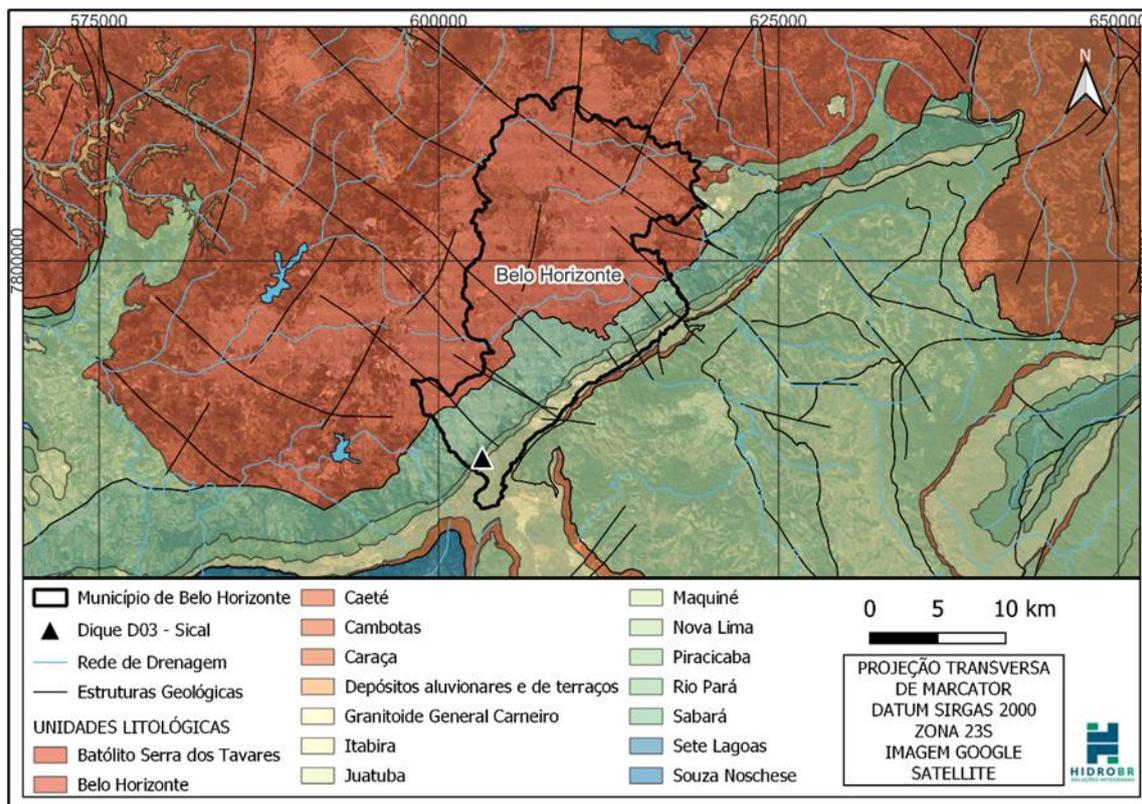


Figura 3.1: Geologia regional da área da Barragem Dique D-03

A drenagem principal da região é representada pela bacia hidrográfica do rio das Velhas, pertencente a bacia hidrográfica do rio São Francisco. A maior parte da área está enquadrada morfologicamente na depressão do São Francisco, com

colinas tabuliformes e modelados cársticos nos domínios do Grupo Bambuí. Na parte sul ocorrem áreas de topografia elevada (até 1.300m) que caracterizam o Quadrilátero Ferrífero, com dissecações e escarpas erosivas. No limite leste ocorrem as altas superfícies modeladas do Espinhaço com escarpas erosivas.

Na região de Belo Horizonte podem ser observados três grandes domínios geomorfológicos, que foram denominados pelo Projeto Radar Minas Gerais (1978) de depressão periférica do São Francisco, Quadrilátero Ferrífero e de serras, patamares e escarpas do Espinhaço.

Na depressão periférica do São Francisco, onde se inclui a maior parte da área, ocorrem duas unidades geomorfológicas distintas: zonas de colinas e de superfícies aplainadas.

A primeira unidade corresponde às formas de relevo esculpidas nas rochas granito-gnáissicas, constituindo colinas de topo aplainado ou não, colinas com vales encaixados e cristas esparsas, e, finalmente, colinas com vertentes ravinadas e vales encaixados.

A segunda unidade corresponde às formas de relevo esculpidas em rochas do Grupo Bambuí, correspondendo às colinas de vertentes ravinadas e vales encaixados na região de Jaboticatubas, ocorrendo para sul superfícies onduladas em depressões (cársticas), colinas com vales encaixados ou, ainda, colinas com topos aplainados.

Essas duas unidades são resultantes da pediplanação do Ciclo Sul-Americano e atuação do Ciclo Velhas (entalhamento), do Terciário Inferior e Terciário Superior ao Pleistoceno, respectivamente.

A unidade geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero corresponde às formas esculpidas nas rochas dos supergrupos Minas e Rio das Velhas, que são o topo

da serra do Curral e cristas com vertentes ravinadas e vales encaixados, além de superfícies aplainadas com pontões na serra das Cambotas.

O topo da serra do Curral, onde o mesmo se encontra acima de 1.000m, é atribuído ao Ciclo Pós-Gondwana, enquanto a maior parte da área com superfícies dissecadas corresponde ao entalhamento do Ciclo Velhas.

A unidade “serras, patamares e escarpas do Espinhaço” corresponde às formas esculpidas em rochas do Grupo Macaúbas e Supergrupo Espinhaço, com altitudes de até 1.400m. As formas dominantes correspondem a cristas com as vertentes ravinadas e vales encaixados, e localmente ocorrem superfícies aplainadas com cristas e pontões esporádicos.

3.1.2 GEOLOGIA LOCAL

O Dique D-03 pertencente a DVG Sical encontra-se na porção sul do município de Belo Horizonte, em uma estreita faixa do Grupo Piracicaba em contato com os grupos Sabará a norte e Itabira a sul.

Estratigraficamente, o Grupo Itabira está sotoposto pelo Grupo Piracicaba, e este, pelo Grupo Sabará, porém, devido ao intenso tectonismo ao qual a região foi submetida durante sua formação, com dobras e falhas abundantes por toda a área, há locais onde as unidades são observadas de forma invertida, com o Grupo Sabará sotoposto aos demais.

A seguir são descritos geológica e litologicamente as unidades que perfazem o substrato rochoso da área do empreendimento.

- **Grupo Itabira**

O Grupo Itabira foi definido por Dorr II et al. (1957) como sendo constituído por uma sequência metassedimentar predominantemente química e com uma posição estratigráfica imediatamente superior ao Grupo Caraça. Corresponde ao itabirito da “Formação Itabira” de Harder e Chamberlin (1915) e também às rochas

dolomíticas intimamente associadas da mesma formação, e que provavelmente haviam sido inclusas em parte na “Formação Piracicaba”.

Pelo seu caráter intergradacional e devido ao intemperismo, em muitos locais a separação entre itabiritos e dolomitos tornou-se muito difícil, e essas rochas foram agrupadas no Grupo Itabira Indiviso no mapeamento realizado pela parceria USGS/DNPM.

As rochas do Grupo Itabira ocorrem ao longo das serras do Curral e da Piedade, ambas de direção ENE e onde a Formação Cauê sustenta a topografia realçada de maneira contínua; na serra da Descoberta ocorre uma inflexão na forma de uma ferradura. Já a Formação Gandarela ocupa parte da vertente setentrional da serra do Curral e parte da depressão em calha onde se encaixa a BR-040, na região antigamente denominada Belvedere e o Parque das Mangabeiras. A outra área abrangida pelo grupo se situa na sinclinal da Gandarela, ocorrendo em ambas as abas da mesma.

O Grupo Itabira, na faixa que vai da serra do Curral à serra da Piedade, está em contato com os grupos Caraça e Nova Lima na parte sul dessas serras, enquanto sua parte setentrional faz limites com as formações Cercadinho e Cercadinho/Fecho do Funil (Grupo Piracicaba) e Grupo Sabará. O contato entre as unidades do Grupo Itabira é de natureza gradacional.

Na parte norte, observa-se um contato invertido entre a Formação Gandarela e a “Formação” Cercadinho/Fecho do Funil, sotoposta. Pomerene e Ashley (1964) caracterizaram uma discordância erosional entre as Formações Cercadinho e Gandarela, marcada por metaconglomerado e grit contendo fragmentos da Formação Gandarela, chapas de hematita e concreções ferruginosas. As duas unidades são estruturalmente concordantes.

No restante do trecho o contato efetua-se com a Formação Cauê, invertida e por sua vez sobreposta de maneira concordante aos filitos da “Formação” Cercadinho/Fecho do Funil.

Na serra da Piedade, o contato do Grupo Itabira é feito em concordância estrutural com os filitos e xistos do Grupo Sabará, com aquele sempre se sobrepondo estruturalmente e topograficamente ao Grupo Piracicaba.

O Grupo Itabira, na aba norte da sinclinal da Gandarela, sobrepõe-se de modo concordante ao Grupo Caraça, enquanto é coberto, ao sul, pela Formação Cercadinho do Grupo Piracicaba. Na aba sul, que é invertida, a Formação Gandarela integra a serra do Baú e se sobrepõe à Formação Cercadinho.

- **Grupo Piracicaba**

O Grupo Piracicaba foi definido por Dorr II et al. (1957) e praticamente equivale à Formação Piracicaba proposta por Harder e Chamberlin (1915).

As formações do Grupo Piracicaba são constituídas predominantemente por rochas metassedimentares clásticas (grit, quartzitos, filito e filito carbonoso) e esporádicas lentes de dolomito. Difere totalmente da sequência do Grupo Itabira.

É possível individualizar a Formação Cercadinho, que domina em área, e uma estreita faixa da Formação Fecho do Funil, sendo boa parte da unidade expressa como Formação Cercadinho/Fecho do Funil.

O Dique D-03 situa-se sobre a Formação Cercadinho, constituída, na região do empreendimento, principalmente por meta-arenitos e lentes de filitos.

O Grupo Piracicaba ocupa faixas ENE bastante persistentes ao norte das serras do Curral e da Piedade, sendo limitadas na parte côncava da ferradura da serra da Descoberta, e na parte central da sinclinal da Gandarela. Da base para o topo assim se distribui: Formação Cercadinho (Cercadinho/Fecho do Funil) e

Formação Fecho do Funil. Entretanto, como as camadas estão invertidas, a lapa é o Grupo Sabará e à capa correspondem as rochas da Formação Cercadinho.

As formações Cercadinho e Cercadinho/Fecho do Funil ocupam estreitas faixas com menos de 1km de largura, desde o extremo SW, até o início da serra da Piedade, na região de Sabará. São cortadas pelo acesso à Cidade Industrial, pela BR-040, pela Av. Afonso Pena e ocupando o bairro da Serra, sendo atravessadas pelo Rio das Velhas, em Sabará, estreitando-se na região da mina Córrego do Meio. Já a Formação Fecho do Funil aflora nos trechos entre a Av. Raja Gabaglia e a curva do Chuá (BR-040), e no bairro Mangabeiras, após a Av. José do Patrocínio.

O contato entre as formações Cercadinho e Fecho do Funil é gradacional, ressaltando-se que a Formação Cercadinho se encontra em posição estratigráfica invertida e recobre a Formação Fecho do Funil.

Em relação ao Grupo Sabará, os contatos dão-se ora com a Formação Fecho do Funil ora com a Formação Cercadinho, ou com a Formação Barreiro e com quartzitos da Formação Taboões; como as duas últimas unidades são muito delgadas, devido à escala, o contato no mapa aparece como sendo com as Formações Cercadinho e Fecho do Funil, ou com a “Formação Cercadinho/Fecho do Funil”.

A Formação Cercadinho é constituída principalmente de filitos, quartzitos, grit, filito dolomítico e dolomito. Na parte basal, são descritos níveis delgados e erráticos, conglomeráticos, embora de granulação predominantemente fina, assim como concreções de hematita. São filitos carbonosos, cinzentos a prateados, intercalados em quartzitos brancos ou cinza a negros, às vezes conglomeráticos (grit).

Os quartzitos apresentam-se em camadas lenticulares ou não, alternados com filitos cinza prateado a negros. Chegam a formar “ritmitos”, seja alternando-se

com filitos, ou entre quartzitos brancos e cinza escuro a negros com níveis de 1cm de espessura.

Nos quartzitos podem ser vistas estratificações cruzadas tabulares de pequeno ângulo, e níveis miloníticos, assim como dobras abertas “em joelho”, às quais se associa uma clivagem de fratura de direção aproximada N-S. Wallace (1965) relatou a presença de marcas de onda na região de Belo Horizonte.

Por serem produtos parciais de erosão do Grupo Itabira, tanto filitos quanto quartzitos escuros têm um teor elevado em ferro (hematita), que chega a constituir de 15- 20% dessas rochas, em média.

As rochas da Formação Cercadinho são facilmente degradadas pela ação intempérica, de modo que os cortes de estrada nos seus saprólitos são bastante instáveis e sujeitos a frequentes deslizamentos.

A Formação Fecho do Funil foi denominada e descrita por Simmons (1958) e tem pequena representatividade. É constituída de filitos sericíticos e filitos xistos dolomíticos cinzentos, quando frescos, passando a tonalidades ocre e marrons, quando meteorizados; além de lentes de dolomito. Os filitos podem ser francamente hematíticos, enquanto os filitos dolomíticos são constituídos de dolomita, quartzo e sericita; mármore impuros são comuns, tendo conteúdo magnésífero. Essa unidade também apresenta problemas de estabilidade nos cortes artificiais.

A denominação “Formação Cercadinho/Fecho do Funil” foi utilizada para designar as faixas onde a Formação Cercadinho, em princípio dominante, encontra-se associada a delgados pacotes de filitos e outras litologias da Formação Fecho do Funil.

- **Grupo Sabará**

Essa unidade foi definida com uma hierarquia de “Formação” por Gair (1958), que a situou, estratigraficamente, no topo do Grupo Piracicaba, onde constituiria uma sequência do tipo “eugeossinclinal”. Segundo Maxwell (1963) apresenta em Belo Horizonte uma espessura de 3.000 a 3.500m, enquanto na sinclinal da Gandarela sua espessura deve ser da ordem de 1.000m (Moore, 1969).

Segundo Gair (1958), na seção tipo, em Sabará, onde o rio das Velhas corta a serra do Curral, o Grupo Sabará é formado por micaxistos e clorita xistos, com metagrauvas e subgrauvas intercaladas, além de quartzitos. Fácies com granada e estauroлита ocorrem nas proximidades de rochas graníticas, sendo os xistos formados à base de muscovita e biotita. Pomerene (1964) e Simmons (1968) relataram a presença de um conglomerado na base do grupo, no contato com a Formação Barreiro, ao norte da serra do Curral. É constituído de pequenos fragmentos angulares de filito em matriz filítica, em camada de poucos centímetros de espessura.

Dorr II (1969) salientou que a Formação Sabará sempre é estruturalmente concordante com as unidades subjacentes e chamou a atenção para uma possível superfície erosional pré-Sabará, justamente pela exiguidade da área das formações Taboões e Barreiro (não deposição ou erosão). Renger et al. (1994), devido às particularidades como espessura e características sedimentares propuseram a sua desvinculação do Grupo Piracicaba, denominando-a de Grupo Sabará, que corresponderia a um importante megaciclo sedimentar.

A faixa mais expressiva do Grupo Sabará cobre parte da região metropolitana ao sul de Belo Horizonte. Sofre um estreitamento para menos de 2km de largura, ocupando faixas entre os acessos de Caeté, onde se encontra limitado tectonicamente na altura da serra da Descoberta.

Outra área ocupada pelo Grupo Sabará encontra-se na parte central da sinclinal da Gandarela, entre as serras do Baú e do Congo Soco. O Grupo Sabará é limitado em ambas as abas daquela sinclinal pela Formação Cercadinho.

O Grupo Sabará encontra-se em contato com o Grupo Piracicaba o Complexo Belo Horizonte e o Granitóide General Carneiro. Na área do Dique D-03 circunda a formação cercadinho, mas devido a espessura, não é representativo na escala do mapa.

A Figura 3.2 a apresenta o mapa com as unidade principais que compõe a área do empreendimento.

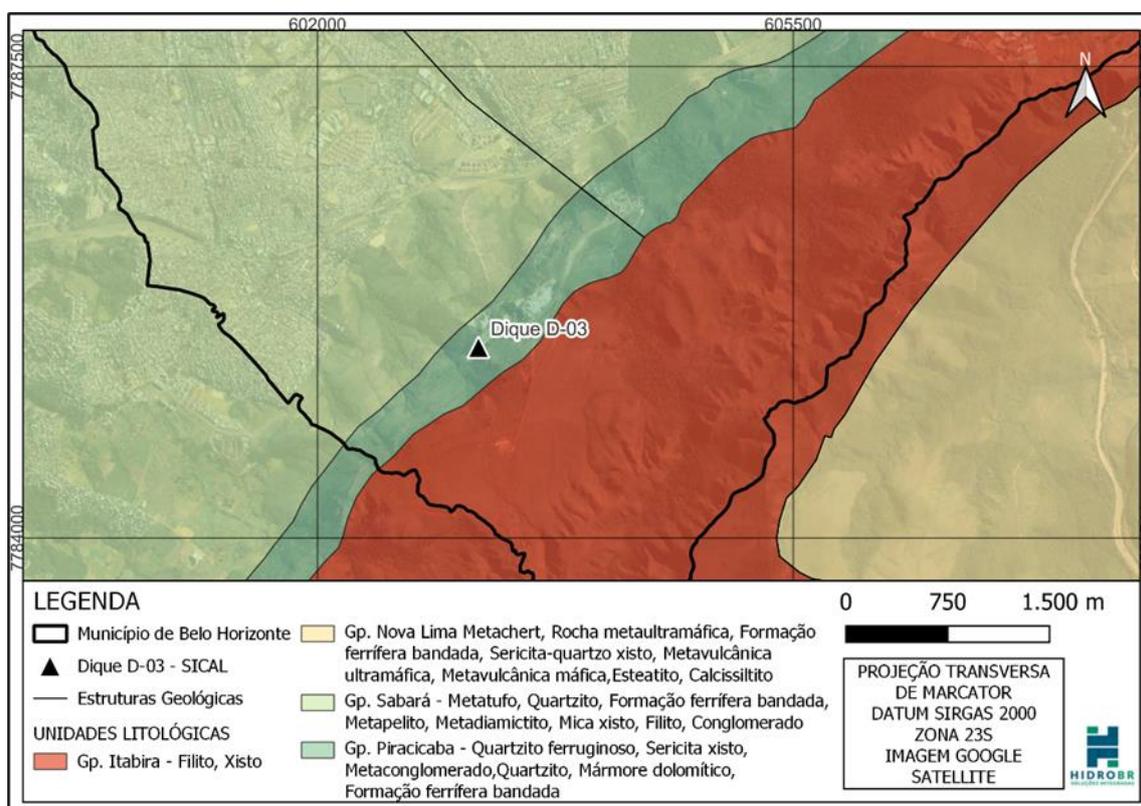


Figura 3.2: Geologia local da área da Barragem Dique D-03

3.1.3 GEOTECNIA DA BARRAGEM

A Barragem Dique D-03 não possui em seu histórico programa de investigações geológica-geotécnicas e, desta forma, sua caracterização foi realizada com base na inspeção de campo realizada pela equipe HIDROBR no dia 22 de outubro de 2022.

A geologia da área é caracterizada por meta-arenitos pertencentes a Formação Cercadinho do Grupo Piracicaba. É comum a ocorrência de intercalações com filitos do Grupo Sabará dado o complexo contexto geológico-estrutural ao qual a região foi submetida.

A fundação da barragem é composta pelos meta-arenitos de granulometria fina a média, sotoposta por camada delgada de filito alterado.

O maciço é constituído por mistura de solo com cacos de blocos de concreto autoclavados. Importante ressaltar que os blocos autoclavados possuem densidade menor que a da água, ficando suscetíveis a carreamento em caso de percolação de fluxo no barramento.

A área do reservatório, assim como a fundação da barragem, é composta por meta-arenitos de aparente alta permeabilidade, dada a elevada taxa de infiltração das águas pluviais que drenam para o reservatório.

3.2 GEOMETRIA E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Segundo o PSB (2019) não há registros referentes ao projeto original da Barragem Dique D-03. As primeiras informações disponibilizadas e avaliadas são relacionadas ao projeto de adequação das dimensões do barramento desenvolvido em 2018.

Anteriormente ao rebaixamento da Barragem Dique D-03, o maciço principal possuía comprimento de crista de 60,0 m e altura máxima aproximada de 19,0 m (El. 1.136 m). A crista da estrutura tinha aproximadamente 3,50 m de largura. O reservatório, possuía capacidade de 13.673 m³. Essas informações estão dispostas no documento “Mapa_Inundação” (Mapa de inundação da Barragem de Contenção de Águas Pluviais Dique D-03).

No ano de 2018 foi executada a alteração da estrutura, com o rebaixamento da crista e aprofundamento do reservatório. Em sua nova conformação, o

barramento passou a ter 14,0 m de altura (El. 1.131 m), comprimento de crista de 43,50 m, com 16,60 m de largura e capacidade de reservatório de 10.450,12 m³. Essas informações estão dispostas no documento PSB_Revisão_01-19 (Plano de Segurança da Barragem de Contenção de Sedimentos e Águas Pluviais Dique D-03).

Em ambas as conformações a composição tanto da fundação quanto do maciço eram as mesmas, sendo a fundação composta por meta-arenito sobreposta por delgada camada de filito, e o aterro composto por mistura de solo e cacos de blocos de concreto autoclavados. O reservatório é composto pelo mesmo meta-arenito permeável da fundação.

Na Figura 3.3 é mostrada a seção típica da Barragem Dique D-03 após as adequações realizadas.

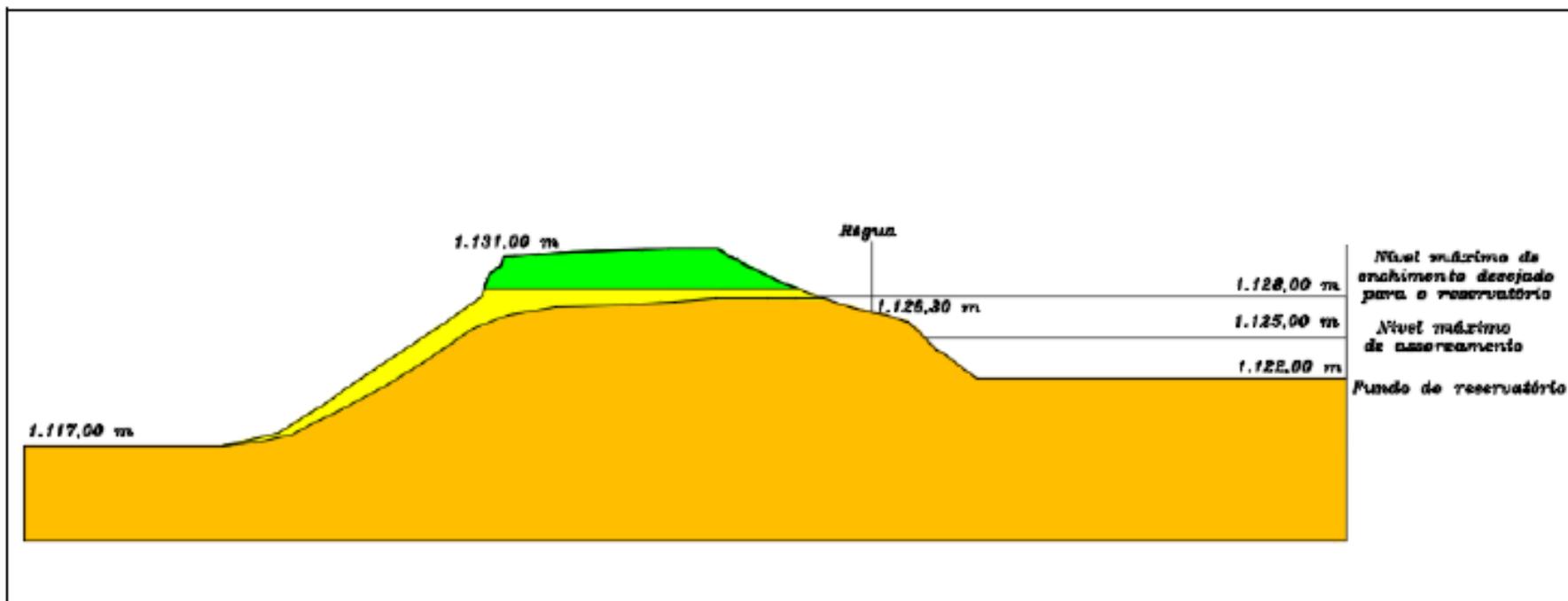


Figura 3.3: Seção típica da Barragem Dique D-03. Fonte: PSB_Revisão_01-19.

3.3 SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

De acordo com a documentação disponibilizada, a estrutura não apresenta sistema de drenagem interna.

3.4 SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial do dique D-03 é composto por duas escadas de transferência localizadas próximas as ombreiras esquerda e direita do barramento e uma canaleta de drenagem localizada na crista do talude de montante do barramento.

A escada de transferência localizada próxima à ombreira direita conduz o escoamento das águas do nível de topo da pilha de estéril e dos taludes a sul da pilha para o interior do reservatório do Dique D-03. A escada de transferência localizada próxima à ombreira esquerda conduz o escoamento das águas do nível de crista do barramento até o interior do reservatório.

3.5 SISTEMA EXTRAVASOR

De acordo com a documentação disponibilizada, a barragem Dique D-03 não apresenta estrutura extravasora.

3.6 SISTEMA DE MONITORAMENTO E AUSCULTAÇÃO

De acordo com a documentação disponibilizada, a estrutura não dispõe de instrumentos para monitoramento e auscultação. Segundo o “1º Relatório de Inspeção de Segurança Regular - Exercício 2022” o nível de água no interior do reservatório é acompanhado semanalmente através de fotografias desde 2017 e, os índices de chuva da região acompanhados através de uma estação meteorológica do INMET situada em Ibirité (Rola Moça).

4 AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA

Foi disponibilizado o documento “RISR 2022_Declaração_condição_estabilidade_D-03 – Abril-2022”, além da vistoria técnica realizada pela equipe da HIDROBR no dia 26/10/2022 com as observações apresentadas no relatório HBR181-22-SICAL-Aud.Barragem-REL001.

No RISR de abril de 2022 consta que a estrutura não é provida de sistema de monitoramento por instrumentos, sendo executados monitoramentos semanais da variação do nível d’água no interior do reservatório através de registro fotográfico regular desde 2017, além de acompanhamento dos índices pluviométricos através de uma estação meteorológica do INMET.

Segundo o documento, o maior volume diário acumulado de chuvas 24 horas já registrado durante o período histórico de monitoramento do Dique D-03, ocorreu no dia 9 de janeiro de 2022, quando foram registrados na estação Ibirité (Rola Moça) um volume diário de 207,60 mm, e o reservatório do dique D-03 demonstrou adequada capacidade de amortecimento.

No que refere a manutenção da estrutura, de acordo com o RISR, o desassoreamento do reservatório tem sido realizado com a periodicidade anual conforme estabelecido pelo plano de segurança.

A inspeção realizada em abril de 2022 identificou uma única anomalia de pequena magnitude que foi a ruptura da parede lateral da escada de dissipação da ombreira esquerda do Dique D-03. A anomalia detectada não traz risco à estrutura do barramento, mas deveria ser corrigida antes do próximo período chuvoso.

Não foram realizados quaisquer tipos de intervenções na face do talude. As anomalias identificadas anteriormente e que foram relacionadas à

movimentação da face do talude, apesar de observadas, continuavam estáveis e sem sinais de processos evolutivos.

Durante a vistoria técnica realizada no dia 26/10/2022 pela equipe HIDROBR na estrutura do Dique D-03, consolidada no documento HBR181-22-SICAL-Aud.Barragem-REL001, verificou-se que a área do reservatório estava quase seca, apenas com uma lâmina d'água ao fundo, sem altos níveis de assoreamento, aparentando possuir volume disponível ainda adequado. Foi observado que a base da régua linimétrica instalada no reservatório está posicionada em uma região onde, segundo funcionários, a água do reservatório não costuma alcançar. Isso porque, conforme disposto no RISR elaborado em 2022 pela própria equipe da Sical (RISR 2022_Declaração_condição_estabilidade_D-03 – Abril-2022), o nível de água do reservatório não pode alcançar a marca de 1,70 m da régua linimétrica, pois dessa forma sujeitaria a estrutura à condição limite de estabilidade.

Foi observado leve deslocamento pontual da rocha constituinte da ombreira esquerda próximo à crista, que não aparenta interferir na segurança da estrutura.

Foram verificadas árvores de eucalipto já de grande porte na ombreira direita do lado de jusante, não respeitando a faixa mínima de segurança.

A face do talude de jusante encontrava-se coberta por vegetação rasteira, não sendo observados sinais erosivos na porção inferior da face do talude que já foram reportados em relatórios de inspeções anteriores. Observou-se apenas a existência de uma espécie de berma na região central do talude, aparentando ser a marcação do corpo do barramento construído sobre o terreno natural escavado.

Não foi identificado sistema de drenagem superficial no talude de jusante, apenas na ombreira direita e na margem esquerda do reservatório mais a montante do barramento, direcionando a água para o reservatório.

A crista do barramento não é revestida, mas possui pontos esparsados de crescimento de vegetação arbustiva. Foi notada a existência de uma espécie de leira de proteção lateral na crista voltada para os taludes de jusante e de montante. Nas leiras observou-se maior crescimento de vegetação.

Conforme descrito no Capítulo 3 item 3.1.3, a barragem é composta por uma mistura solo/cacos de blocos de concreto autoclavado, que deixa a estrutura mais permeável e mais suscetível a movimentações quando submetida a saturação pela elevação do NA do reservatório. Por esse motivo, conforme relatado pelo engenheiro Cláudio Dias e reportado em relatórios anteriores, após a construção da barragem houve o aumento do nível do reservatório em uma ocasião, que culminou na movimentação da face de jusante do talude. Essa condição foi verificada em campo, mas, quando comparada a registros fotográficos da mesma área de anos anteriores, não aparenta ter evoluído desde o início de 2019.

Também foi observado que o talude possui face irregular, marcada por blocos de concreto e de rocha deslocados. Foi implantada, inclusive, uma rede de arame apoiada em estacas de madeira no meio do talude, próximo à ombreira direita com objetivo de conter esses blocos deslocados.

Por fim, notou-se uma área sem cobertura vegetal próximo à ombreira direita no pé do talude, aparentemente erodida.

O sistema de drenagem superficial da área da mina, que engloba as ombreiras e taludes da região, encontrava-se em plena funcionalidade. Foram observadas pequenas fraturas na borda da canaleta, sem interferir no funcionamento e nem aparentar estar relacionada à movimentação da base da estrutura.

Apenas a canaleta de drenagem superficial da crista não está plenamente funcional por estar obstruída.

5 RESUMO DOS ESTUDOS ANTERIORES

5.1 MAPA DE INUNDAÇÃO - 2018

O documento foi elaborado em 2018 pela BMS Serviços de Mineração, em atendimento ao Artigo 6º da Portaria N°70.389 do DNPM, atual ANM, que estabeleceu entre outras ações, a necessidade de elaboração do “Mapa de Inundação” para todas as barragens de mineração.

O Mapa de Inundação é o produto do estudo de inundação, compreendendo a delimitação geográfica georreferenciada das áreas potencialmente afetadas por uma potencial ruptura da barragem e seus possíveis cenários associados, o que objetiva facilitar a notificação eficiente e a evacuação de áreas afetadas por esta situação.

O “Sistema de Gestão de Riscos da Barragem de Contenção de Águas Pluviais – Dique D-03” teve início em dezembro de 2005, com a elaboração do 1º Relatório Técnico de Auditoria de Segurança. O relatório elaborado em atendimento a Deliberação Normativa COPAM N° 87/2005 apresentou uma avaliação das consequências de uma ruptura indesejada em condições extremas de enchimento da bacia de acumulação sobre a área de jusante. A metodologia de cálculo utilizada envolveu os conceitos de área a jusante da barragem, trajetória do fluxo e volume de massa em deslocamento; conforme definidos no Artigo 4º da Deliberação Normativa COPAM N° 87/2005.

A relevância ambiental da área de jusante do barramento é caracterizada pela presença de mata nativa ciliar densa e do leito do Córrego do Jatobá, que ficam localizados parte no interior da unidade do Parque da Serra do Rola Moça, parte na sua zona de amortecimento.

Do ponto de vista da existência de instalações e de população a jusante, as primeiras residências localizadas no bairro Independência, localizam-se a 1.451,22 m de distância do barramento e a linha férrea a 1.847,31 m.

A metodologia utilizada para a determinação da área de jusante impactada no caso de uma ruptura indesejada foi definida conforme prerrogativa técnica número II do Artigo 4º da Deliberação Normativa COPAM nº 87, de 17 de junho de 2005.

O estudo concluiu que devido ao pequeno volume do reservatório e do barramento, a área impactada a jusante é equivalente a 0,402 hectares e a distância de deslocamento ao longo do vale igual a 380,63 m e, uma ruptura indesejada do barramento não causaria danos as instalações à jusante (ferrovia e residências), nem colocaria em risco vidas humanas. Para fins de classificação quanto ao potencial de dano, o estudo considerou como inexistentes a presença de instalações e a ocupação humana dentro da área de influência a jusante do barramento, e os danos seriam apenas de caráter ambiental.

O estudo apresenta ainda a categoria e dano potencial associado (DPA), com base na RPS realizada em dezembro de 2017, enquadrando a estrutura como pertencente a “Classe E”, ou seja, potencial de risco Baixo, e dano ambiental associado também Baixo.

5.2 PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM - 2019

O PSB da Barragem de contenção de Sedimentos e Águas Pluviais Dique D-03 foi elaborado em 2019 pela BMS Serviços de Mineração, após as modificações das condições geométricas (redução da altura do barramento e aprofundamento do reservatório) executadas em 2018 e substitui o antigo PSB elaborado em 2015 pela PROAMB – Projetos, Serviços Ambientais e Representações.

Após o rebaixamento da estrutura, a mesma foi descadastrada do extinto DNPM (atual ANM) e do Banco de Declarações Ambientais (BDA) do estado de Minas Gerais.

De acordo com o documento, o Dique D-03 foi construído pela disposição de uma mistura de solo e cacos de blocos de concreto autoclavados de diversas formas e dimensões que foram empilhados sem prévios estudos ou

investigações geológica-geotécnicas, nem qualquer tipo de projeto ou controle construtivo.

Quanto aos procedimentos de operação, manutenção e monitoramento, o documento altera os procedimentos adotados até 2018, até então realizados através de fichas de inspeção com periodicidade quinzenal, e implementando inspeções de segurança semanais de forma visual e informal, apenas com registro fotográfico das condições do nível freático no interior do reservatório e, no caso de identificação de anomalias, elaboração de uma Ficha de Inspeção Regular para registro e tratamento do problema.

Foi executada análise de estabilidade para o barramento adotando como critério de projeto o fator de segurança mínimo aceitável (F.S.) de 1,5. Para as análises foram consideradas superfícies potenciais de ruptura cilíndricas, com profundidade mínima de 1,5 m. As superfícies foram definidas pela malha de centros e conjunto de linhas tangentes, passando tanto pelo aterro quando pela fundação da barragem.

Os parâmetros geotécnicos adotados no estudo são apresentados na Tabela 5-1.

Tabela 5-1: Parâmetros geotécnicos da Barragem Dique D-03

Parâmetros Geotécnicos	Materiais		
	Rejeito industrial	Filito	Metarenito (fundação)
Peso específico (kN/m ³)	18,16	22,00	22,00
Coesão (kPa)	0,00	25,00	50,00
Ângulo de atrito efetivo (°)	36,00	22,00	33,00

Fonte: PSB_Revisão_01-19

As superfícies críticas foram classificadas em “superfícies rasas” e “superfícies profundas”, sendo as “rasas”, aquelas com profundidade mínima de 1,5 m que ocasionariam rupturas locais, e “profundas”, aquelas cuja consequência é

considerada grave, como uma ruptura global ou que envolva uma porção considerável do material de composição do maciço.

Foram analisados três cenários hipotéticos no nível d'água no reservatório: seco; N.A de 1,00 m e N.A de 3,00 m.

Para os cenários de ruptura profunda (ruptura global) os resultados obtidos para o fator de segurança são superiores ao valor mínimo definido para a avaliação (1,5), independentemente do nível d'água. No entanto, para os cenários de superfícies de rupturas rasas, mesmo com nível de reservatório seco, os fatores de segurança obtidos são inferiores ao mínimo estabelecido. A análise indica que um fluxo contínuo na camada de cacos de blocos autoclavados conduziria a instabilização do maciço.

Os estudos concluíram que para valores superiores a 2,0 m de coluna d'água medidos sobre a face do talude, a estrutura estaria sujeita a uma situação crítica de equilíbrio limite. Desta forma, não é admissível a percolação de água através do corpo do barramento. Desde que não haja percolação através do corpo do barramento, não existe risco de instabilização da estrutura.

O documento contempla ainda uma reavaliação da categoria de risco e dano potencial associado, segundo dois sistemas diferentes de classificação: o sistema adotado pela ANM – Agência Nacional de Mineração e o sistema de classificação para barragens no estado de Minas Gerais adotado pela FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente. No primeiro, foi mantido a classificação obtida anteriormente, sendo a Barragem Dique D-03 enquadrada como de “Classe E”, ou seja, potencial de risco “Baixo” e dano ambiental associado “Baixo”. No sistema FEAM/MG a Barragem Dique D-03 foi enquadrada na categoria “Classe I”, isto é, pequeno porte e baixo potencial de dano ambiental.

5.3 MONITORAMENTO DA VARIAÇÃO DA LÂMINA D'ÁGUA NO INTERIOR DO RESERVATÓRIO DO DIQUE D-03 – 2021

O documento elaborado pela BMS – Serviços de Mineração em agosto de 2021 apresenta um resumo dos 4 ciclos de monitoramento semanal fotográfico da variação do nível d'água no reservatório da Barragem Dique D-03.

O primeiro ciclo compreendeu o período de novembro de 2017 até agosto de 2018. Durante o período de monitoramento verificou-se que a lâmina d'água não alcançou o nível de instalação da régua e que toda a infiltração ocorreu pelo fundo do reservatório.

O segundo ciclo iniciou-se em setembro de 2018 e foi concluído em agosto de 2019. Novamente os níveis da lâmina d'água não atingiram o pé da régua de monitoramento e toda a água infiltrou pelo fundo do reservatório.

No terceiro ciclo, que abrangeu o período de setembro de 2019 a agosto de 2020 ocorreu a maior precipitação da série histórica para o mês de janeiro na região (966,60mm) com valores diários chegando a 180mm. O maior acúmulo de água no reservatório do Dique D-03 foi observado em 28/01/2020, quando o volume acumulado atingiu o nível de instalação da régua. Apesar disso, toda a água infiltrou através do fundo do reservatório.

A estação chuvosa do quarto ciclo foi caracterizada por baixas intensidades de chuvas diárias no último trimestre de 2020. O ciclo contempla o período de setembro de 2020 a agosto de 2021.

Não foram disponibilizados dados posteriores ao quarto ciclo de monitoramento do nível de reservatório.

5.4 RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR – 04/2021

A RISR de abril de 2022 foi elaborada pela BMS – Serviços de Mineração com objetivo de avaliar as condições de segurança e manutenção das estruturas que

compõem o barramento do dique D-03. Foram avaliados procedimentos de manutenção, inspeções e monitoramento, além de replicar a análise de estabilidade executada no PSB 2019, apresentada no item 5.2.

A atividade de inspeção abordou a verificação dos seguintes itens:

- Taludes de montante, talude de jusante e crista do barramento: verificação quanto à presença de trincas, focos erosivos, falhas de vegetação, cupinzeiros, formigueiros, tocas de animais, afundamentos, abatimentos e escorregamentos;
- Ombreiras: verificação de focos erosivos e de infiltração na zona de contato maciço/terreno natural;
- Fundação: verificação de subsidência e de percolação na zona de contato maciço/terreno natural;
- Reservatório: verificação da condição de assoreamento;
- Drenagem superficial: verificação da presença de trincas ou fissuras e de obstrução por deposição de detritos;
- Condições ambientais da região de jusante: avaliação da região com relação ao estado de preservação.

A inspeção realizada identificou uma única anomalia de pequena magnitude que foi a ruptura da parede lateral da escada de dissipação da ombreira esquerda do Dique D-03. De acordo com o documento, a anomalia detectada não traz risco à estrutura do barramento.

Com base nos itens verificados na inspeção, o documento conclui que a estrutura da Barragem Dique D-03 é estável.

5.5 RELATÓRIO DE VISITA AUDITORIA TÉCNICA – 10/2022

O documento elaborado pela HIDROBR em outubro de 2022 teve por objetivo apresentar o estado de conservação da Barragem de Contenção de Sedimentos e Águas Pluviais – Dique D-03.

O monitoramento visual foi realizado observando o estado de conservação da estrutura no dia da visita, apontando possíveis anomalias e verificando a permanência, evolução ou correção das anomalias identificadas em visitas de campo anteriores.

As estruturas inspecionadas neste monitoramento foram:

- Acesso
- Reservatório
- Ombreiras
- Barragem (taludes, crista e fundação)
- Sistema de drenagem superficial

A descrição detalhada dos itens inspecionados, será apresentada no item 6.

O relatório de visita apresenta um plano de ação para as anomalias identificadas que, cabe ressaltar, não apresentam evolução ou gravidade que comprometam a estabilidade do barramento.

6 INSPEÇÃO DE CAMPO

No dia 22 de outubro de 2022, foi realizada pela HIDROBR Soluções Integradas, a inspeção de campo na Barragem Dique D-03. O monitoramento visual foi realizado tendo em vista as anomalias identificadas durante as visitas de campo anteriores e observações quanto ao estado de conservação da barragem no dia da visita, apontando possíveis novas anomalias.

6.1 ACESSO

O acesso até a mina se dá por vias públicas asfaltadas em boas condições, com sinalização adequada. Os acessos internos também apresentam boas condições, sem anomalias observadas. A Figura 6.1 mostra as condições observadas no acesso a barragem.



Figura 6.1: Condições observadas no acesso

6.2 CRISTA

A crista do barramento não é revestida, mas possui pontos esparsados de crescimento de vegetação arbustiva, principalmente nas leiras de proteção lateral voltada para os taludes de jusante e de montante.

Verificou-se que parte do sistema de drenagem superficial encontra-se obstruído e com as bordas quebradas.

A Figura 6.2 e Figura 6.3 mostram as condições observadas na crista do barramento.



Figura 6.2: Leiras de proteção lateral da crista com maior concentração de vegetação



Figura 6.3: Sistema de drenagem superficial obstruído

6.3 OMBREIRA ESQUERDA

A ombreira esquerda apresenta boas condições, sem observação de erosões ou infiltração/percolação na zona de contato maciço/terreno natural. A estrutura dotada de sistema de drenagem superficial em boas condições.

Foi observado leve deslocamento pontual da rocha constituinte da ombreira esquerda próximo à crista, que não aparenta interferir na segurança da estrutura. A Figura 6.4 e Figura 6.5 apresentam as condições observadas na ombreira esquerda da estrutura



Figura 6.4: Condições observadas na ombreira esquerda



Figura 6.5: Deslocamento pontual da rocha na ombreira esquerda

6.4 OMBREIRA DIREITA

A ombreira direita apresenta boas condições, sem observação de erosões ou infiltração/percolação na zona de contato maciço/terreno natural. A estrutura dotada de sistema de drenagem superficial apresentando boas condições.

Foram verificadas árvores de eucalipto já de grande porte na ombreira direita do lado de jusante, não respeitando a faixa mínima de segurança. A Figura 6.6 e a Figura 6.7 mostram as condições observadas na ombreira direita da estrutura



Figura 6.6: Condições observadas na ombreira direita



Figura 6.7: Eucalipto na ombreira direita do lado de jusante

6.5 TALUDE MONTANTE

A face do talude de montante encontrava-se coberta por vegetação rasteira, não sendo observados sinais erosivos na porção inferior da face do talude que já foram reportados em relatórios de inspeções anteriores.

Observou-se apenas a existência de uma espécie de berma na região central do talude, aparentando ser a marcação do corpo do barramento construído sobre o terreno natural escavado. O barramento, construído em etapa única, é composto por uma mistura de solo e cacos de blocos de concreto autoclavado, produzidos na fábrica da mina. Os blocos de concreto possuem densidade menor que a da água, o que torna o barramento suscetível a movimentações em caso de percolação através do seu corpo, como já ocorrido anteriormente.

Não foi identificado sistema de drenagem superficial no talude de montante, apenas na ombreira direita e na margem esquerda do reservatório mais a montante do barramento, direcionando a água para o reservatório.

A Figura 6.8 apresenta as condições observadas no talude de montante do barramento.



Figura 6.8: Vista do talude de monstane a partir da ombreira direita

6.6 TALUDE JUSANTE

Conforme descrito no item 6.5, a barragem é composta por uma mistura solo/cacos de blocos de concreto autoclavado, que deixa a estrutura mais permeável e mais suscetível a movimentações quando submetida a saturação pela elevação do NA do reservatório. Por esse motivo, conforme relatado pelo engenheiro Cláudio Dias e reportado em relatórios anteriores, após a construção da barragem houve o aumento do nível do reservatório em uma ocasião, que culminou na movimentação da face de jusante do talude. Essa condição foi verificada em campo, mas, quando comparada a registros fotográficos da mesma área de anos anteriores, não aparenta ter evoluído desde o início de 2019.

Também foi observado que o talude possui face irregular, marcada por blocos de concreto e de rocha deslocados (Figura 6.9). Foi implantada, inclusive, uma rede de arame apoiada em estacas de madeira no meio do talude, próximo à ombreira direita com objetivo de conter esses blocos deslocados, como apresenta a Figura 6.10.

Por fim, notou-se uma área sem cobertura vegetal próximo à ombreira direita no pé do talude, aparentemente erodida como observado no canto inferior esquerdo da Figura 6.9.



Figura 6.9: Condições observadas no talude de jusante, face irregular e áreas não vegetadas na porção inferior



Figura 6.10: Cerca para contenção de blocos

6.7 SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial da área da mina, que engloba as ombreiras e taludes da região, encontrava-se em plena funcionalidade. Foram observadas pequenas fraturas na borda da canaleta, sem interferir no funcionamento e nem aparentar estar relacionada à movimentação da base da estrutura.

Apenas a canaleta de drenagem superficial da crista não está plenamente funcional por estar obstruída, conforme indicado no item 6.2.

As Figura 6.11, Figura 6.12 e Figura 6.13 apresentam as condições observadas no sistema de drenagem da estrutura.



Figura 6.11: Escada de transferência da ombreira direita



Figura 6.12: Escadas de transferência da ombreira direita



Figura 6.13: Canaleta adjacente a trilha de acesso a Barragem Dique D-03

6.8 RESERVATÓRIO

A área do reservatório apresentava-se quase seca à ocasião, apenas com uma lâmina d'água ao fundo, sem altos níveis de assoreamento, quando comparado aos registros fotográficos da estrutura, aparentando possuir volume disponível ainda adequado.

Foi observado que a base da régua linimétrica instalada no reservatório está posicionada em uma região onde, segundo funcionários, a água do reservatório não costuma alcançar. Isso porque, conforme disposto no RISR elaborado em 2022 pela própria equipe da Sical (RISR 2022__Declaração_condição_estabilidade_D-03 – Abril-2022), o nível de água do reservatório não pode alcançar a marca de 1,70 m da régua linimétrica, pois dessa forma sujeitaria a estrutura à condição limite de estabilidade. A Figura 6.14 apresenta as condições observadas no reservatório.



Figura 6.14: Condições observadas no reservatório, com régua linimétrica a esquerda.

6.9 INSTRUMENTAÇÃO

A barragem de contenção Dique D-03 não é instrumentada, portanto, não foi analisado o comportamento da estrutura com base em leituras de instrumentos.

O reservatório também não possui régua linimétrica funcional (a lâmina d'água não chega na cota de pé da régua) para aferição do nível de água, sendo este monitorado por meio de registros fotográficos realizados periodicamente por funcionários responsáveis pela manutenção da estrutura.

6.10 RESUMO DAS PRINCIPAIS ANOMALIAS IDENTIFICADAS

Monitoramento visual

Acesso:

- Acessos sem observância de anomalias;

Reservatório:

- Reservatório quase seco à ocasião, apenas com uma lâmina d'água ao fundo e com volume disponível adequado;

Ombreira esquerda:

- Leve deslocamento pontual da rocha constituinte da ombreira esquerda, próximo à crista, que não aparenta interferir na segurança da estrutura;

Ombreira direita:

- Árvores de eucalipto já de grande porte na ombreira direita do lado de jusante, não respeitando a faixa mínima de segurança;

Talude Montante:

- Observou-se a existência de uma espécie de berma na região central do talude, aparentando ser a marcação do corpo do barramento construído sobre o terreno natural escavado. A barragem é composta por uma mistura de solo e cacos de blocos de concreto autoclavados, produzidos na fábrica da mina.
- Não foi identificado sistema de drenagem superficial no talude de jusante, apenas na ombreira direita e na margem esquerda do reservatório mais a montante do barramento, direcionando a água para o reservatório;

Crista:

- Crista não revestida, mas com pontos esparsados de crescimento de vegetação arbustiva;
- Foi notada a existência de uma espécie de leira de proteção lateral na crista voltada para os taludes de jusante e de montante. Nas leiras observou-se maior crescimento de vegetação.

Talude jusante:

- Sinais de movimentação da face do talude que ocorreu antes de 2019 em decorrência do aumento do NA do reservatório e, aparentemente, não vem apresentando evolução;

- Face do talude irregular, marcada por blocos de concreto e de rocha deslocados e existência de uma rede de arame apoiada em estacas de madeira no meio do talude, próximo à ombreira direita com objetivo de conter esses blocos deslocados;
- Árvores no talude, no encontro com a ombreira direita;
- Área sem cobertura vegetal próximo à ombreira direita no pé do talude, aparentemente erodida;

Sistema de drenagem superficial:

- O sistema de drenagem superficial da área da mina é funcional;
- Pequenas fraturas na borda da canaleta, sem interferir no funcionamento e nem aparentar relação com movimentação da base da estrutura;
- Canaleta de drenagem superficial da crista não está plenamente funcional por estar obstruída.

Instrumentação:

- Barragem não instrumentada, contando apenas com uma régua limimétrica para aferição do nível de água do reservatório quando este encontra-se elevado.

7 RECOMENDAÇÕES E PLANO DE AÇÕES

Neste item são apresentadas as ações necessárias para sanar as anomalias e as recomendações de segurança apresentadas ao longo do presente documento.

As recomendações foram classificadas em prioridade nos níveis 1, 2, 3, 4 e 5, de acordo com o risco e a tendência de evolução. As definidas com prioridade “ALTA” são aquelas classificadas em 1 e 2. Já as definidas como “MÉDIA” foram as com classificação 3, enquanto as definidas com prioridade “BAIXA” foram as que se classificaram como 4 ou 5. Essa classificação é ilustrada na Tabela 7-1.

Tabela 7-1: Nível de urgência das recomendações

		Nível de Risco			
		<i>BAIXA</i>	Baixo	Médio	
Nível de Tendência de Evolução	Baixo	5	4	3	<i>MÉDIA</i>
	Médio	4	3	2	
	Alto	3	2	1	<i>ALTA</i>
		<i>MÉDIA</i>			

As ações sem data de implementação devem ser realizadas continuamente e informadas periodicamente, pois influenciam diretamente na segurança. Deve-se atentar às ações atrasadas para a elaboração do cronograma atendimento ao plano de ação. As recomendações são apresentadas na Tabela 7-2 e Tabela 7-3.

Tabela 7-2: Recomendações geral

GERAL/AÇÕES CONTINUAS		
Item	Descrição	Priorização
1	Desobstruir canaleta de drenagem superficial da crista da barragem;	BAIXA
2	Monitoramento visual do reservatório;	BAIXA
3	Suprimir árvores de grande porte no encontro do talude de jusante com a ombreira direita;	BAIXA Ação contínua
4	Desassoreamento do reservatório	BAIXA Ação contínua
5	Combate à vegetação invasora;	BAIXA Ação contínua
6	Monitorar visualmente deslocamento pontual da rocha;	BAIXA Ação contínua

Tabela 7-3: Plano de ações das medidas recomendadas para a Barragem Dique D-03

Item	Recomendação	Classificação	Priorização	Prazo
1	Monitorar visualmente estado de conservação das canaletas de drenagem superficial da área da mina e mantê-las desobstruídas.	4	BAIXA	Rotina
2	Realizar o monitoramento visual do reservatório com frequência estabelecida no PSB da barragem, a fim de evitar que o nível de água atinja a altura máxima de 1,70 m da régua linimétrica, definida para manutenção da segurança da estrutura;	4	BAIXA	Rotina
3	Suprimir árvores de grande porte no encontro do talude de jusante com a ombreira direita;	4	BAIXA	Conforme calendário PRAD
4	Realizar desassoreamento do reservatório com frequência estabelecida no PSB da estrutura;	5	BAIXA	Rotina
5	Executar plano frequente de capina e combate à vegetação invasora nos taludes de jusante e de montante, na crista e nas ombreiras;	5	BAIXA	Rotina
6	Monitorar visualmente deslocamento pontual da rocha, principalmente na ombreira esquerda, próximo à crista, e, em caso de evolução, planejar ação corretiva;	5	BAIXA	Rotina

8 AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA

A avaliação da passagem de cheias consiste em verificar se as estruturas que compõem a barragem suportam a incidência de chuvas intensas na bacia, considerando o volume total do reservatório, para o amortecimento da vazão de cheia, sem que ocorra o galgamento da estrutura.

Para o estudo do trânsito de cheias da Barragem Dique D-03 foi realizada a caracterização da área de estudo, bem como do reservatório da barragem. Para tal, foram determinadas as curvas cota-volume e cota-descarga do reservatório e em seguida, foi traçada a área de drenagem da barragem e determinado o tipo de cobertura do solo em toda a área. Também foram realizados estudos

hidrológicos na região analisada, como via de se determinar a chuva de projeto e, posteriormente, a vazão de projeto afluyente ao reservatório.

8.1 CRITÉRIOS E PREMISSAS ADOTADOS

Para a definição do tempo de retorno (TR) utilizado na verificação das estruturas extravasoras, a NBR 13.028 (ABNT, 2017) aponta para recomendações do dimensionamento em função das dimensões da barragem e do nível de risco a jusante. Segundo a norma, na ausência de informações ou critérios específicos mais rigorosos para o enquadramento das consequências, pode ser utilizado por dano potencial associado (DPA) da barragem. Na Tabela 8-1 são apresentados os critérios indicados na norma supracitada.

Tabela 8-1: Tempo de retorno mínimo a ser considerado para dimensionamento do sistema extravasor em função das consequências ou legislação vigente.

CONSEQUÊNCIAS (DPA – Port. ANM 416)	TEMPO DE RETORNO DE PROJETO (PERÍODO OPERACIONAL)	TEMPO DE RETORNO DE PROJETO (PERÍODO DE FECHAMENTO)
Baixa	200 anos a 500 anos	10.000 anos ou PMP
Média	500 anos a 1.000 anos	10.000 anos ou PMP
Alta	1.000 anos a PMP	10.000 anos ou PMP

A referida NBR indica ainda que é recomendável, segundo análise do projetista, a manutenção de borda livre acima do N.A. máximo maximorum. Desta forma é garantido um fator de segurança contra ondas, variações de crista e de construção.

O Dique D-03 não apresenta estrutura extravasora, sendo que toda água afluyente ao reservatório ao reservatório, infiltra no solo ou evapora naturalmente. Dessa forma, foram avaliadas chuvas extremas, com Tempo de Retorno de 500 anos, 1.000 anos e 10.000 anos (TR500, TR 1.000 e TR 10.000) em diversas durações, para determinar àquelas que seriam suportadas pelo reservatório do Dique D-03.

8.2 CHUVA DE PROJETO

A determinação da chuva de projeto consiste na análise de estações pluviométricas próximas à área de estudo e consistência dos dados disponíveis, definição da estação a ser adotada, para que seus dados sejam analisados estatisticamente para definição dos quantis de precipitação relacionados a um tempo de retorno (TR).

Para obtenção da chuva de projeto, foram avaliadas as estações pluviométricas que se encontravam em um raio de 30 km da Barragem Dique D-03. Dentre as 39 estações encontradas, nove estações apresentaram maior quantidade de dados e foram selecionadas para serem avaliadas com relação a qualidade e consistência dos dados, sendo elas: Belo Horizonte – Horto (01943055), Caixa de Areia (01943022), Ibirité (02404012), Lagoa Grande (02043002), Represa das Codornas (02043042), Rio do Peixe (02043004) e Sabará (01943006). A Tabela 8.2 apresenta as estações supracitadas.

Tabela 8.2 - Estações pluviométricas analisadas.

Estação	Início dos Dados	Fim dos Dados	Latitude	Longitude	Responsável	Distância do barramento (km)
BELO HORIZONTE – HORTO (01943055)	01/08/1967	30/06/2019	-19,8999	-43,9166	INMET	17,20
CAIXA DE AREIA (01943022)	01/12/1940	30/06/2019	-19,9450	-43,9125	ANA	13,80
IBIRITÉ (02044012)	01/01/1945	31/05/2015	-20,0428	-44,0433	ANA	3,70
LAGOA GRANDE (02043002)	01/01/1941	31/07/2019	-20,1792	-43,9427	ANA	18,60
MINERAÇÃO MORRO VELHO (01943000)	31/01/1955	31/07/2018	-19,9791	-43,8500	ANA	18,00
REPRESA DAS CODORNAS (02043042)	13/09/1976	30/11/2019	-20,1647	-43,8919	ANA	20,00

Estação	Início dos Dados	Fim dos Dados	Latitude	Longitude	Responsável	Distância do barramento (km)
REPRESA DO MIGUELÃO (02043043)	13/09/1976	09/01/2022	-20,1261	-43,9502	ANA	13,00
RIO DO PEIXE (02043004)	01/01/1940	31/08/2018	-20,1377	-43,8924	ANA	17,80
SABARÁ (01943006)	11/06/1941	30/11/2019	-19,8931	-43,8149	ANA	25,40

Fonte: Wallisson Moreira de Carvalho (2020, July 5). HydroBr: A Python package to work with Brazilian hydrometeorological time series (Version 0.1.1).

Na Figura 8.1 é apresentada a localização das estações analisadas.

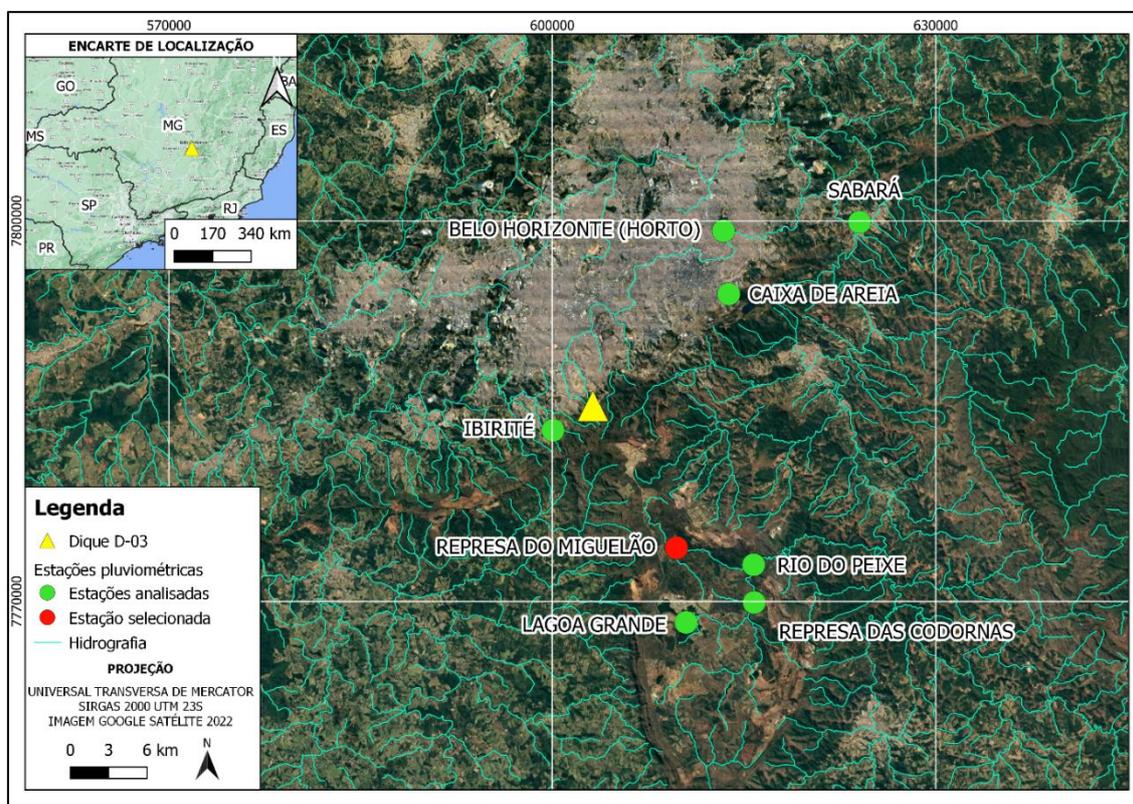


Figura 8.1 - Localização estações pluviométricas

Com base nos critérios de extensão da série histórica, consistência dos dados, proximidade ao barramento e maior quantil de chuvas, a estação Represa do Miguelão (02043043) foi selecionada para definição da chuva de projeto da barragem.

A estação Represa do Miguelão (02043043) apresenta registros pluviométricos entre os anos de 1976 e 2022, totalizando 47 anos de dados observados, dos quais 15 foram descartados por apresentar série incompleta, resultando em 32 anos de dados.

A Tabela 8.3 apresenta os valores de precipitação máxima por ano hidrológico para a estação Represa do Miguelão (02043043). Vale ressaltar que os anos hidrológicos que apresentaram falhas nos meses chuvosos (novembro a fevereiro) foram descartados da análise.

Tabela 8.3 - Precipitações máximas por ano hidrológico – Estação pluviométrica Represa do Miguelão (02043043)

Ano Hidrológico	CHUVAS MÁXIMAS								
	1 dia	2 dias	3 dias	5 dias	7 dias	10 dias	15 dias	20 dias	30 dias
1975-1976	Ano Hidrológico Descartado								
1976-1977	108,80	161,80	193,80	218,90	255,40	303,50	425,20	471,50	491,00
1977-1978	Ano Hidrológico Descartado								
1978-1979	Ano Hidrológico Descartado								
1979-1980	Ano Hidrológico Descartado								
1980-1981	Ano Hidrológico Descartado								
1981-1982	91,00	108,10	122,00	162,60	231,10	259,10	309,60	336,60	482,40
1982-1983	100,00	159,60	234,60	314,90	329,20	370,90	421,30	510,60	705,90
1983-1984	80,00	92,00	132,00	167,00	187,50	228,70	285,60	337,00	440,90
1984-1985	90,00	130,00	140,00	189,30	229,60	278,80	360,30	488,30	606,60
1985-1986	58,40	86,40	126,40	149,50	214,00	267,10	286,00	417,40	552,80
1986-1987	Ano Hidrológico Descartado								
1987-1988	110,00	126,30	135,30	194,50	215,00	297,10	363,30	427,10	548,10
1988-1989	Ano Hidrológico Descartado								
1989-1990	85,00	103,30	140,60	230,60	262,60	354,10	374,10	380,7	496,00
1990-1991	Ano Hidrológico Descartado								
1991-1992	120,00	175,00	225,30	263,30	294,50	356,90	527,80	587,70	788,00
1992-1993	62,30	90,00	103,20	181,60	203,90	255,20	314,70	335,40	393,20
1993-1994	100,30	135,30	144,30	170,50	191,80	248,30	297,10	373,70	454,80
1994-1995	150,40	250,70	290,70	304,10	341,10	380,00	400,30	437,30	518,80
1995-1996	156,30	200,30	214,30	230,30	242,60	262,70	399,80	498,70	614,90
1996-1997	145,30	265,30	339,60	468,80	485,50	511,30	593,30	706,30	814,90
1997-1998	64,30	71,00	84,40	107,60	122,80	189,40	232,60	256,10	306,70
1998-1999	60,40	65,70	101,30	126,70	137,70	176,00	242,40	272,80	315,90
1999-2000	111,30	167,70	192,70	252,10	277,10	296,50	421,90	437,50	479,50
2000-2001	160,00	165,40	165,80	168,80	171,20	192,30	277,90	346,30	374,70
2001-2002	91,80	121,80	125,40	167,00	192,40	214,70	287,20	374,30	448,30
2002-2003	99,00	140,40	183,80	226,00	267,40	347,60	457,90	578,50	638,80
2003-2004	90,40	101,60	125,20	159,80	232,30	268,40	373,60	403,60	536,80

Ano Hidrológico	CHUVAS MÁXIMAS								
	1 dia	2 dias	3 dias	5 dias	7 dias	10 dias	15 dias	20 dias	30 dias
2004-2005	77,60	118,00	180,80	245,80	254,90	281,10	322,50	389,40	460,70
2005-2006	70,20	84,60	108,80	149,60	190,40	243,20	312,20	419,80	472,60
2006-2007	56,40	77,80	81,80	110,40	138,70	171,30	223,50	275,00	396,30
2007-2008	86,20	134,60	145,30	210,30	238,70	278,10	329,90	379,00	448,60
2008-2009	91,10	111,60	146,40	241,50	290,40	339,40	438,70	631,10	744,00
2009-2010	100,20	107,50	149,20	185,60	214,80	244,70	297,10	369,80	551,30
2010-2011	88,20	115,00	148,00	207,20	232,50	285,10	327,20	392,70	453,40
2011-2012	99,50	169,80	225,50	245,50	307,10	382,60	454,60	606,90	799,00
2012-2013	97,70	110,90	126,00	139,60	173,80	259,40	284,60	336,60	450,60
2013-2014	57,00	84,50	111,70	183,0	215,50	232,70	242,90	341,50	439,10
2014-2015	60,00	68,00	101,70	131,50	137,30	138,90	199,60	219,20	289,10
2015-2016	Ano Hidrológico Descartado								
2016-2017	Ano Hidrológico Descartado								
2017-2018	Ano Hidrológico Descartado								
2018-2019	Ano Hidrológico Descartado								
2019-2020	Ano Hidrológico Descartado								
2020-2021	Ano Hidrológico Descartado								
2021-2022	Ano Hidrológico Descartado								

A análise de frequência das amostras de chuvas máximas anuais foi realizada para os anos hidrológicos completos da estação. Os resultados obtidos foram analisados para distribuições de frequência Exponencial, Gumbel e Log Normal. Salienta-se que não foram analisadas curvas teóricas de 3 parâmetros em razão da pouca disponibilidade de dados, inferior a 50 amostras, critério adotado pela HIDROBR para adoção do terceiro parâmetro, o qual induz a uma grande sensibilidade do ramo superior das curvas de ajuste quando analisadas curvas com poucos dados amostrais, enviesando os resultados.

Para verificar a aderência das distribuições de frequência testadas aos dados amostrais, foi aplicado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS). Considerando um nível de significância de 5% ($p\text{-valor} > 0,05$), o teste sugeriu não rejeitar a hipótese nula para nenhuma das distribuições testadas. Sendo todas as distribuições validadas pelo teste de aderência, a definição da distribuição adotada foi feita com base na análise visual dos dados empíricos e a curva teórica, além do maior quantil de chuvas, presando pela segurança do estudo. A Tabela 8.4 apresenta os resultados obtidos no teste de aderência para as três distribuições avaliadas.

Tabela 8.4 - Estatística de teste, valor crítico e p-valor para o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para as distribuições de frequência analisadas.

Estação	Distribuição	Exponencial	Gumbel	Log Normal
REPRESA DO MIGUELÃO (02043043)	p-valor	0,1539	0,6967	0,5911
	Estatística de teste	0,1953	0,1223	0,1331

A distribuição Log Normal foi selecionada por apresentar maior aderência tanto no ramo inferior quanto no ramo superior da curva. O gráfico da Figura 8.2 apresenta a distribuição de probabilidade adotada em conjunto com a distribuição empírica da amostra para eventos pluviométricos com duração de 1 dia.

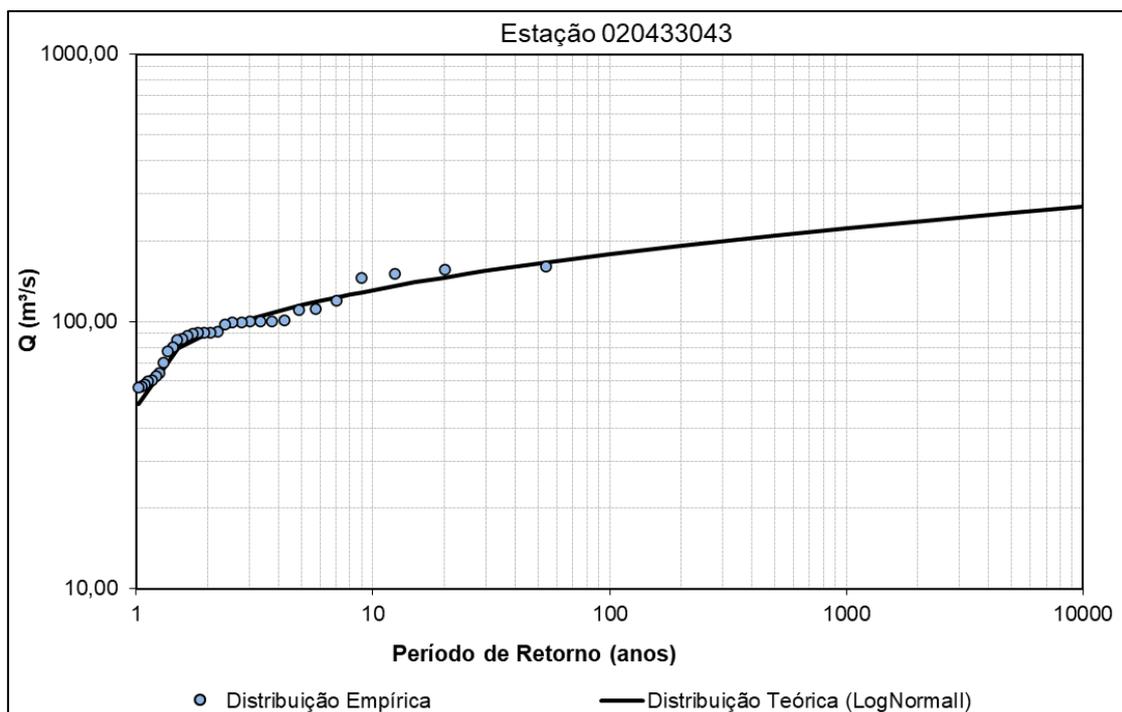


Figura 8.2 - Ajuste distribuição Log Normal às amostras de precipitação diária máxima anual.

Para a transformação da chuva de 1 dia na chuva de 24 horas, foi utilizado o fator multiplicador de 1,14. Para desagregação do evento de 24 horas em

durações inferiores, foi aplicado o método das isozonas definido por Torga (1974). O método das isozonas considera que existe uma certa uniformidade regional entre as alturas de chuva de 6 minutos com 24 horas (P_{6min}/P_{24}) e de 1 hora com 24 horas (P_1/P_{24}), levando às chamadas isozonas de igual relação entre chuvas de diferentes durações.

Os quantis obtidos para as diversas durações e os períodos de retorno estão sintetizados na Tabela 8.5. Destaca-se que para a discretização dos blocos de chuva em blocos de menor duração, utilizou-se a metodologia de Huff para 2º quartil com 50% de probabilidade de ocorrência (HUFF, 1967).

Tabela 8.5 - Quantis de precipitação para períodos de retorno notáveis (mm).

Duração	Tempo de Retorno									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000	10000
5 min	9	12	13	15	17	15	17	18	20	24
10 min	19	24	27	31	33	34	36	40	42	49
25 min	31	40	45	51	55	58	62	68	71	83
30 min	34	43	49	55	60	63	68	73	77	90
1 hora	44	55	62	71	76	82	87	94	99	116
2 horas	57	72	81	93	101	108	116	126	133	157
3 horas	64	82	93	106	115	124	133	144	153	181
4 horas	70	89	100	115	125	135	145	157	167	199
6 horas	77	98	112	128	139	150	161	176	187	223
8 horas	82	105	119	137	149	161	173	189	201	240
10 horas	87	111	126	144	157	170	183	199	212	253
12 horas	90	115	131	150	163	177	190	207	220	264
18 horas	98	125	142	163	178	192	207	226	240	289
24 horas	103	132	150	172	188	203	219	239	254	306
2 dias	120	162	189	224	249	274	300	333	359	449
3 dias	149	198	229	268	297	326	354	392	421	521
5 dias	193	252	289	335	368	401	434	477	509	620
7 dias	224	287	326	374	408	442	475	519	552	664
10 dias	269	338	380	432	469	504	540	585	620	735
15 dias	336	416	465	524	566	607	647	699	738	866
20 dias	403	504	567	643	698	751	802	870	921	1090
30 dias	499	623	700	792	858	922	985	1067	1128	1332

8.3 CURVA COTA-ÁREA-VOLUME

A curva cota-área-volume da Barragem Dique D-03 foi definida através das curvas disponibilizadas pela Sical, através do documento "ITATIAIA_DVG SICAL_AERO_COTA_CORRIGIDA.dwg", levantadas em julho de 2022. Conforme o documento "PSB_Revisão_01-19", é esperado que o nível de água

máxima para a estrutura atinja a cota 1.128 m, deixando 3 metros de borda livre até a crista do barramento. O volume total estimado, para a cota El. 1.131 m é de 13.592 m³. A Figura 8.3 e Figura 8.4 apresentam a curva cota-volume para o Dique D-03.

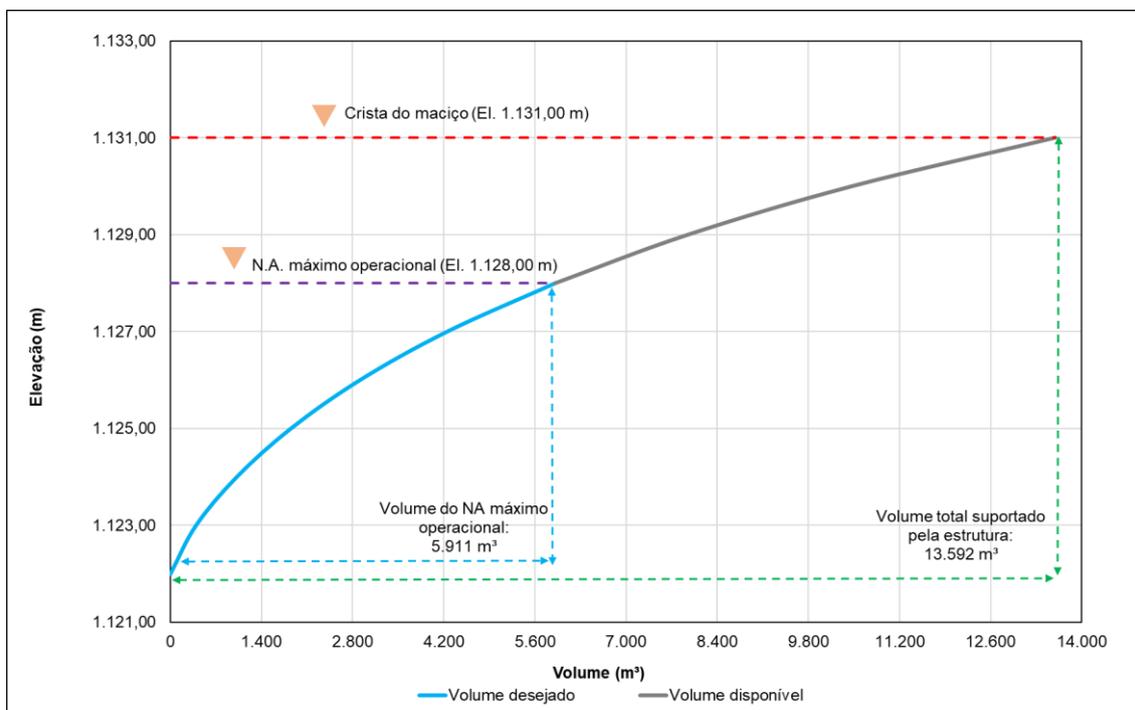


Figura 8.3 – Curva cota x volume da Barragem Dique D-03.

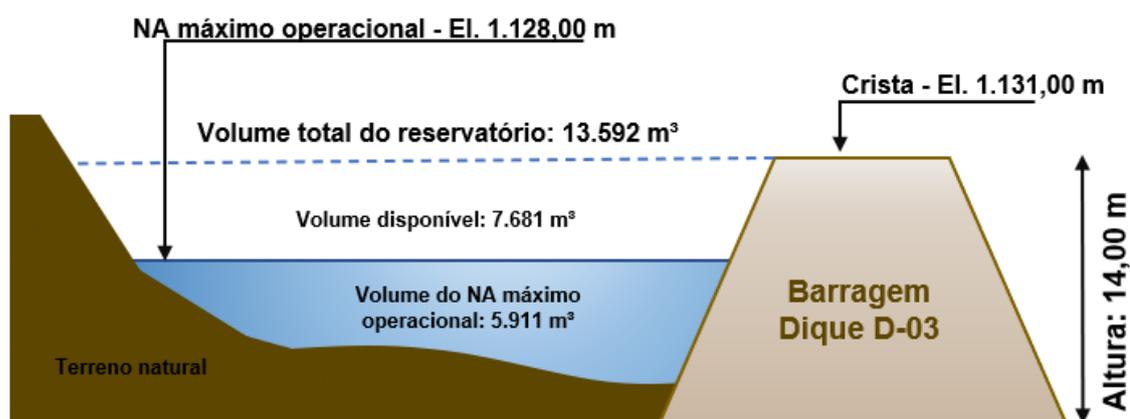


Figura 8.4 - Croqui esquemático do reservatório da Barragem Dique D-03 (sem escala).

Conforme citado anteriormente, o Dique D-03 não possui estrutura vertente, de forma que, para avaliar a vazão máxima suportada pelo reservatório foi necessário comparar a precipitação efetiva, isto é, a parcela da precipitação que irá se transformar em escoamento superficial, com o volume estimado para o reservatório. Para determinar o hidrograma do projeto, foi utilizado o Método Racional, que considera o uso do solo para determinar a precipitação efetiva. A área de drenagem do Dique D-03 é constituída basicamente pelo seu próprio reservatório e taludes gramados laterais, resultando em uma área total de 770 m², conforme apresentado na – Área de contribuição ao reservatório do Dique D-03. Figura 8.5.

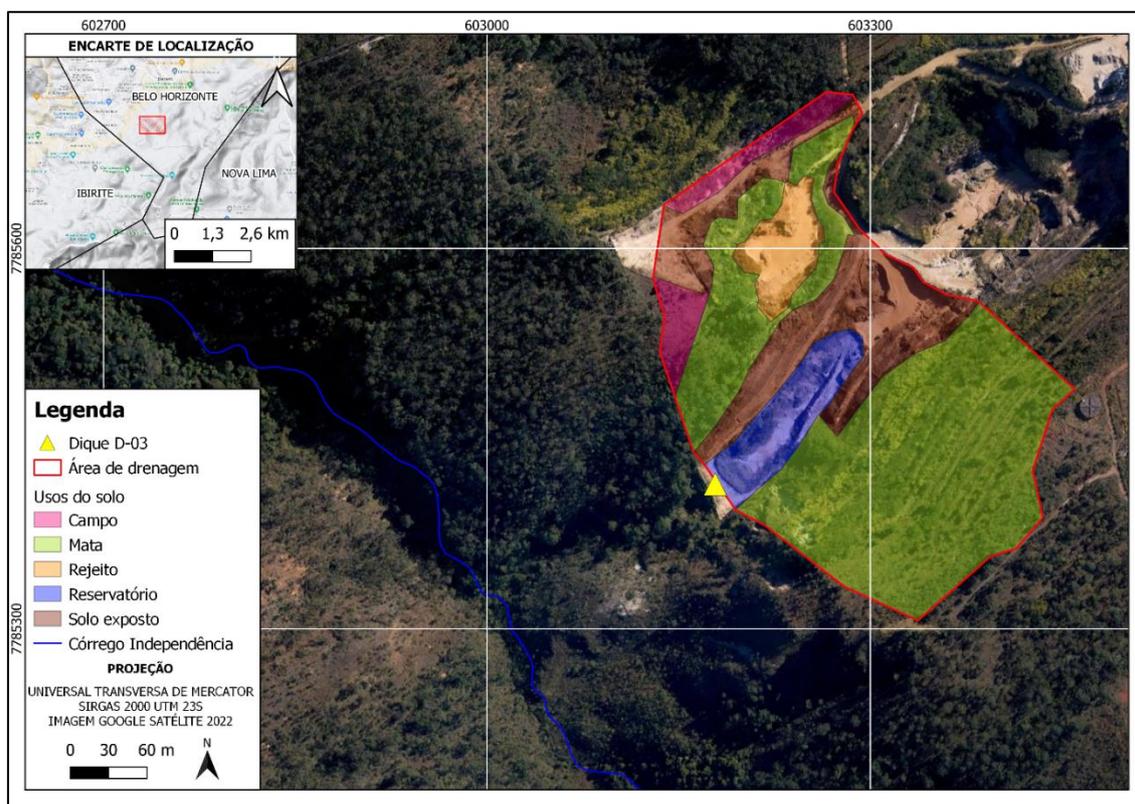


Figura 8.5 – Área de contribuição ao reservatório do Dique D-03.

De posse dos dados de precipitações extremas e do volume total do reservatório, foi possível determinar a capacidade de amortecimento de cheias da barragem de contenção e sedimentos e água pluviais Dique D-03, conforme a Tabela 8.6, considerando o reservatório vazio no início da precipitação.

Tabela 8.6 – Condições esperadas para o Dique D-03, considerando eventos de precipitações extremas.

Borda Livre por Tempo de Retorno e Duração da chuva			
Duração	Tempo de Retorno		
	TR 500	TR 1.000	TR 10.000
5 minutos	7,25 m	7,21 m	7,07 m
10 minutos	6,87 m	6,80 m	6,54 m
25 minutos	6,38 m	6,27 m	5,84 m
30 minutos	6,29 m	6,16 m	5,70 m
1 hora	5,91 m	5,75 m	5,17 m
2 horas	5,36 m	5,14 m	4,31 m
3 horas	5,04 m	4,78 m	3,81 m
4 horas	4,81 m	4,52 m	3,46 m
6 horas	4,48 m	4,16 m	2,95 m
8 horas	4,25 m	3,90 m	2,60 m
10 horas	4,07 m	3,70 m	2,32 m
12 horas	3,93 m	3,54 m	2,09 m
18 horas	3,61 m	3,18 m	1,59 m
1 dia	3,38 m	2,92 m	1,23 m
2 dias	1,72 m	1,00 m	Galgamento da estrutura*
3 dias	0,69 cm*	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*
5 dias	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*
7 dias	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*
10 dias	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*
15 dias	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*
20 dias	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*
30 dias	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*	Galgamento da estrutura*

*chuvas com necessidade de acionamento da bomba para extravasamento de água e garantia da segurança hidráulica a partir do mantimento da borda livre em 1 m.

A barragem tem DPA baixo e precisa atender o tempo de retorno de projeto de 500 anos. Para garantir a borda livre mínima de 1 m, conforme recomendado, foi instalada uma bomba de capacidade de 30 m³/h, evitando assim o galgamento

e garantindo a segurança hidráulica da estrutura. A operação da bomba está estabelecida no manual de operação da estrutura para acionamento em chuvas com durações maiores que 1 dia.

8.4 DRENAGEM SUPERFICIAL

O Dique-D03 não possui nenhum dispositivo de drenagem superficial, como canaletas de berma, descidas de água periféricas ao maciço, descidas de água no maciço, caixas de passagem e bacias de dissipação. Toda a água que chega ao reservatório, infiltra no solo ou é evaporada naturalmente. Sendo assim, os critérios de avaliação desses dispositivos, definidos no Termo de Referência, não se aplicam a barragem Dique D-03.

9 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO REJEITO

De acordo com as informações disponibilizadas pela DVG Sical e confirmadas em campo pela equipe HIDROBR, não há disposição de rejeito no reservatório da Barragem Dique D-03, tendo o barramento a função de contenção de águas pluviais e pequeno aporte sedimentar carregado por estas.

9.1 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO GEOTÉCNICAS

Como descrito no item 3.1.3, não há registro de investigações geológicas geotécnicas tanto no barramento como no reservatório. Desta forma, a caracterização da estrutura foi executada pelo método táctil-visual de amostras de mão observadas em campo,

10 MODOS DE FALHA

A Barragem Dique D-03, por suas características construtivas pode romper-se por dois processos, quais sejam galgamento e erosão interna (*piping*).

10.1 GALGAMENTO

O galgamento corresponde a elevação do nível d'água do reservatório acima da crista da barragem, provocada principalmente por precipitações pluviométricas maiores do que as estimadas em projeto (Brasil, 2012), resultando na liberação

incontrolável de água do reservatório, carreamento de materiais e ruptura nas barragens de terra ou aumento da sobrecarga em barragens de concreto acarretando também sua ruptura (Silva et al., 2007).

Para a Barragem Dique D-03 foi realizado estudo de trânsito de cheias considerando uma chuva crítica de 30 dias, com o Tempo de Retorno de 10.000 anos. Para este cenário, desconsiderando a operação de bombas, o reservatório do Dique D-03 não é capaz de suportar o volume de água escoada, ocasionando o galgamento da estrutura.

No entanto, pela comparação do volume de água que seria aportado para o reservatório, o volume livre disponível atualmente e a permeabilidade do terreno no fundo do reservatório, que de forma geral apresenta-se seco, a probabilidade de ocorrência de galgamento da estrutura é baixa.

10.2 EROSÃO INTERNA (PIPING)

Os modos de rotura deste tipo estão associados ao carreamento de partículas de solo através da percolação no aterro da barragem ou na sua fundação.

Já foi registrado um evento de carreamento de solo na face do talude de jusante provocado pela percolação de fluxo no barramento. Como apresentado no item 3.1.3, o material que compõe a barragem (cacos de blocos de cimento autoclavados) é menos denso que a água e apresenta grande permeabilidade, o que torna o barramento propenso a ocorrência de “*piping*”. Assim, a erosão interna é considerada o principal modo de falha para a Barragem Dique D-03.

Os estudos realizados demonstram que não é admissível a percolação de água através do corpo do barramento.

No entanto, cabe ressaltar que após o incidente ocorrido foram feitas adequações no barramento com o aprofundamento do reservatório, o que se demonstrou eficaz para conter o volume de água pluvial sem atingir níveis que afetam a estrutura.

11 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Este capítulo apresenta os estudos desenvolvidos para avaliação das condições de estabilidade da Barragem Dique D-03, segundo premissas e critérios da ABNT: NBR 13.028/2017 (“Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e abastecimento de água”).

As análises de estabilidade foram realizadas com o intuito de avaliar as condições atuais de segurança apresentadas pela barragem.

Na ausência de dados de instrumentação e investigações geológica-geotécnicas para caracterização dos materiais que compõem a Barragem Dique D-03, foram avaliadas as características dos materiais que compõe o barramento observados em campo.

11.1.1 Metodologia

As análises de estabilidade foram avaliadas pelo método do equilíbrio limite, utilizando o software Slide 2. Conforme estabelecido pelo “Termo de Referência para a Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens”, elaborado pela FEAM em setembro de 2020, foram utilizados três métodos para fins de comparação e obtenção do fator de segurança crítico (F.S.).

Para a realização das análises de estabilidade, além das recomendações supracitadas e aquelas preconizadas pela norma NBR13.028/2017, foram consideradas as seguintes hipóteses:

- Seção representativa e inspecionada com base nos dados disponibilizados;

- Métodos Morgenstern–Price (GLE), Spencer: Se baseiam em superfícies não-circulares, e são considerados métodos rigorosos, visto que procuram atender todas as equações de equilíbrio (equilíbrio de forças verticais, horizontais e momentos fletores);
- Ruptura global e local de talude com superfície não-circular: Conforme CRAIG (2007), a forma da superfície de ruptura na seção pode ser um arco circular ou uma curva não circular. Em solos relativamente homogêneos e isotrópicos, a superfície tende a ser circular. Caso ocorram materiais ou descontinuidades que apresentem resistências mais baixas, a superfície passa a ser mais complexa. O modo de busca adotado (Auto Refine Search) inicialmente procura por superfícies circulares, e as converte em não-circulares através do número de vértices ao longo de sua superfície, otimizando o fator de segurança caso sejam encontradas camadas fracas e demais condicionantes;
- Método Bishop Simplificado: Se baseia em uma superfície circular e tem como hipótese que a resultante das forças entre as fatias é horizontal;
- Ruptura global e local de talude com superfície circular: O método de Bishop é baseado em superfícies circulares, optou-se por utilizá-las, portanto, de forma representativa.

De acordo com o Termo de Referência para a Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens as análises devem contemplar ao menos 7 cenários, apresentados na Tabela 11-1:

Tabela 11-1: Cenários presentes no Termo de Referência para a Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens

Cenário	Tipo de Ruptura	Talude	F.S. Mínimo
Final de construção ¹	Maciço e fundação	Montante e jusante	1,3

Operação com rede de fluxo em condição normal de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e fundação	Jusante	1,5
Operação com rede de fluxo em condição extrema de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e fundação	Jusante	1,3
Operação com rebaixamento rápido do nível d'água do reservatório	Maciço	Montante	1,1
Operação com rede de fluxo em condição normal	Maciço	Jusante	1,5
		Entre Bermas	1,3
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Maciço e Fundação	Montante e Jusante	1,1
Suscetibilidade à liquefação na condição não drenada	Maciço e Fundação	Montante, Jusante e entre bermas	1,3
¹ Etapas sucessivas de barragens alteadas com rejeitos não podem ser analisadas como “final de construção”, devendo atender aos fatores de segurança mínimos estabelecidos para as condições de operação.			

Fonte: Termo de Referência para a Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – FEAM 2020.

Cabe ressaltar que para a Barragem Dique D-03 os cenários: Fase Final de Construção; Condição de Operação com Rede de Fluxo em Condição Normal de Operação com Nível Máximo do Reservatório, e Condição com Rede de Fluxo em Condição Normal, são equivalentes, uma vez que a condição normal de operação é o reservatório seco.

Ressalta-se ainda que a condição de rebaixamento rápido do nível d'água no reservatório não se aplica a Barragem Dique D-03 uma vez que a mesma não possui nenhuma estrutura ou sistema de drenagem, bombeamento ou descarga de fundo que possa fazer o nível do reservatório baixar rapidamente. A água que chega ao reservatório, infiltra no solo ou é evaporada naturalmente.

De igual forma, o cenário de susceptibilidade a liquefação também não se aplica a Barragem Dique D-03 dadas as características geológica-geotécnicas do

barramento sendo composto por rocha meta-arenito e sem presença de qualquer tipo de rejeito junto a fundação.

Desta forma, para a Barragem Dique D-03 serão analisados 5 cenários apresentados na Tabela 11-2:

Tabela 11-2: Cenários analisados

Cenário	Tipo de Ruptura	Talude	F.S. Mínimo
Final de construção ¹	Maciço e fundação	Montante e jusante	1,3
Operação com rede de fluxo em condição normal de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e fundação	Jusante	1,5
Operação com rede de fluxo em condição extrema de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e fundação	Jusante	1,3
Operação com rede de fluxo em condição normal	Maciço	Jusante	1,5
		Entre Bermas	1,3
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Maciço e Fundação	Montante e Jusante	1,1

¹ Etapas sucessivas de barragens alteadas com rejeitos não podem ser analisadas como “final de construção”, devendo atender aos fatores de segurança mínimos estabelecidos para as condições de operação.

Para as análises de estabilidade locais do talude de jusante foi adotada profundidade mínima de ruptura igual a 2,00 m. Este valor se justifica devido ao fato de profundidades inferiores apresentarem FS abaixo de 1.0, referentes a erosões superficiais na porção do aterro que não representam cenário instável da estrutura. Cabe ressaltar, no entanto, que há medidas possíveis de serem tomadas para que, mesmo com *input* de profundidades nulas, não ocorra deterioração da face do talude, tal como no talude de montante que apresenta menor inclinação da porção superior de aterro.

Os parâmetros de resistência, seção representativa, linha freática e sismo máximo provável adotados na análise e inseridos no software Slide 2 são apresentados nos tópicos a seguir.

11.1.2 Parâmetros de Resistência dos Materiais

Não há registro de investigações geológicas-geotécnicas e ensaios de laboratório para caracterização tanto do barramento como do reservatório.

Desta forma, a caracterização da estrutura foi executada utilizando como base o método táctil-visual de amostras de mão e observação, em campo, dos materiais que compõem o barramento e reservatório, além de bibliografias especializadas e a experiência da equipe HIDROBR com materiais semelhantes.

A fundação da barragem é composta pelos meta-arenitos de granulometria fina a média, aparentando grande permeabilidade, sotoposta por camada delgada de filito alterado.

O maciço é constituído por mistura de solo com cacos de blocos de concreto autoclavados. Importante ressaltar que os blocos autoclavados possuem densidade menor que a da água, ficando suscetíveis a carreamento em caso de percolação de fluxo no barramento.

A área do reservatório, assim como a fundação da barragem, é composta por meta-arenitos de aparente alta permeabilidade dada a elevada taxa de infiltração das águas pluviais que drenam para o reservatório.

Na ausência de dados de investigação foram avaliados e validados os parâmetros de resistência dos materiais utilizados na Plano de Segurança da Barragem Dique D-03 (PSB_Revisão_01-19), com base nas observações de campo, bibliografia especializada Vargas (1977), Velloso e Lopes (1996) e Pinto (2000) e Caputo (1988) e experiência da equipe HIDROBR com materiais semelhantes. Os valores são explicitados na Tabela 11-3.

Tabela 11-3: Parâmetros de Resistência dos Materiais

Materiais	Peso Específico γ (kN/m ³)	Coesão c' (kPa)	Ângulo de atrito ϕ' (°)
Aterro	18,00	0,00	36,00
Filito	22,00	25,00	22,00
Meta-arenito	22,00	50,00	33,00

11.1.3 Geometria e Seção

A seção geológico-geotécnica da Barragem Dique D-03 apresenta-se perpendicular ao eixo da estrutura, sendo considerada a seção de maior altura.

O contexto geológico-geotécnico foi definido através das observações de campo, e projetos disponibilizados pela DVG Sical. Utilizou-se como base a seção apresentada no Plano de Segurança da Barragem Dique D-03, elaborado pela BMS Serviços de Mineração em 2019 (PSB_Revisão_01-19), adaptada e adequada com a nova topografia e condições encontradas em campo,

A seção A-A', com estratigrafia, é apresentada na

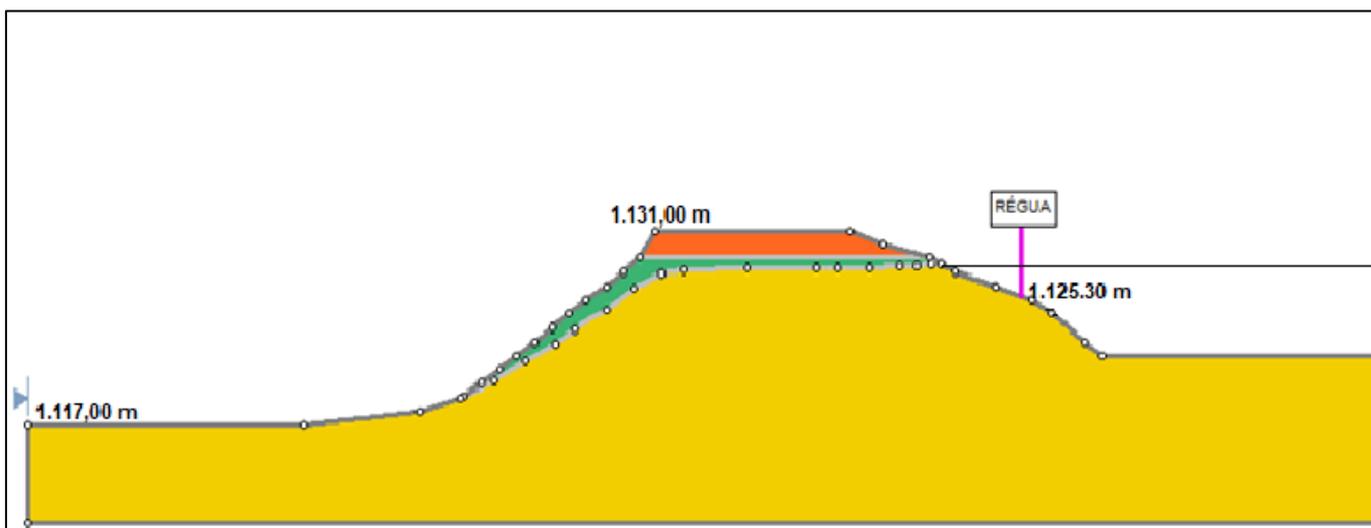


Figura 11.1.

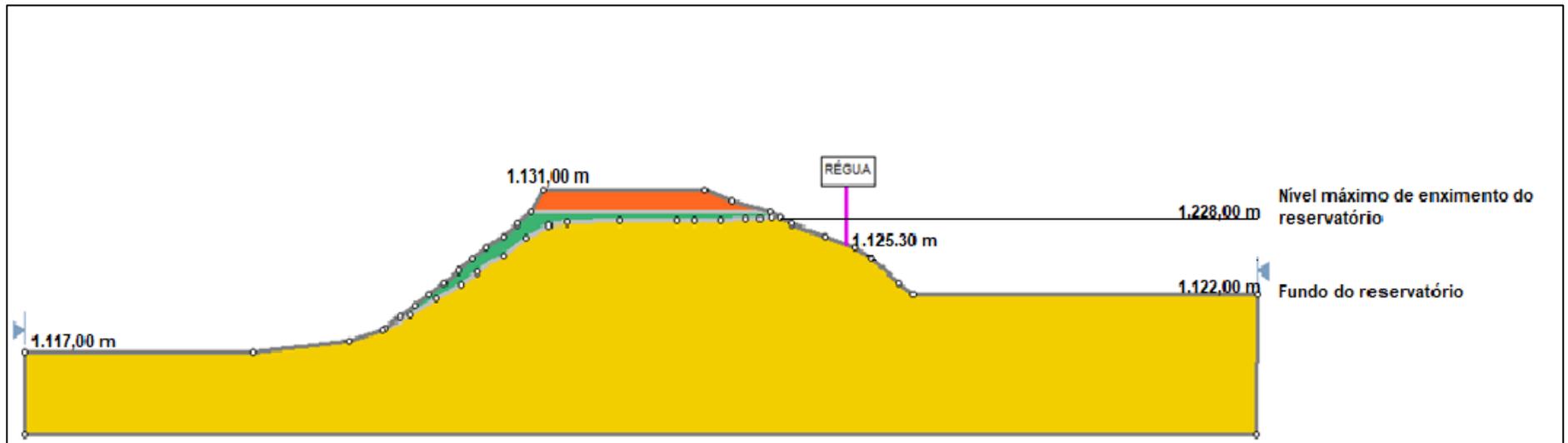


Figura 11.1: Seção Geológico-Geotécnica A-A' – Barragem Dique D-03

11.1.4 Linha Freática Adotada

Para a condição normal de operação adotou-se o reservatório seco, baseado no histórico de monitoramento fotográfico semanal do mesmo.

Para o N.A. do reservatório na condição extrema, adotou-se a cota de 1.128m (conforme estudos hidrológicos). Observa-se que a cota adotada é inferior a cota de topo do reservatório, isto porque dada as características dos materiais que compõe o barramento, menos densos que a água, não é admissível que o nível do reservatório ultrapasse esta cota, sob risco da ocorrência de erosão interna.

11.1.5 Sismo máximo provável

A norma NBR 13.028 de 2017 recomenda que os estudos sísmicos realizados para as análises de estabilidade sigam o critério sugerido pela Canadian Dam Association (CDA), que indica a adoção da aceleração da gravidade resultante do Sismo Máximo Provável (MCE – Maximum Credible Earthquake) para análise pseudo-estáticas.

Neste tipo de análise, proposta no documento Dam Safety Guidelines 2007, Edição 2013, a aceleração máxima horizontal (PGA) depende do Tempo de retorno – TR em função da classificação da barragem. O coeficiente sísmico horizontal (K_h) adotado nas análises de estabilidade pseudo-estáticas é resultante do valor equivalente a 50% do PGA (Corpo de Engenheiros, 1982; Marcuson e Franklin, 1983; Hynes-Griffin e Franklin, 1983; entre outros).

O valor para o coeficiente sísmico vertical K_v adotado é 0, em acordo com a teoria de Papadimitriou *et al.* (2014), que reforça que os valores de acelerações verticais em regiões de baixa atividades sísmicas podem ser consideradas desprezíveis ou de baixa relevância.

A metodologia proposta por CDA para a determinação do K_h consiste em:

- Classificação da barragem pelos critérios propostos pelo CDA (Tabela 11-4);
- Determinação do tempo de retorno do sismo de projeto (Tabela 6.1B do documento Dam Safety Guidelines 2007, Edição 2013);
- Determinação do sismo de projeto.

De acordo com a Tabela 11-4 a barragem classifica-se na condição extrema, seguindo os critérios da CDA.

Tabela 11-4: Classificação da Barragem 158 (A-1) - CDA

Classificação	População em risco (nota 1)	Perdas de vida (nota 2)	Valores Culturais e Ambientais	Infraestrutura e economia
Baixa	Nenhuma	0	- Perda mínima de curto prazo - Nenhuma perda de longo prazo	- Perdas econômicas baixas; - Área contém serviços e infraestrutura limitadas
Significativa	Apenas temporariamente	Não Especificada	- Perda/deterioração não significativa de habitats naturais de vida silvestre ou aquática - Perdas limitadas a habitats marginais - Restauração e compensações altamente factíveis	- Perdas a instalações recreacionais, locações laborais temporárias, e rotas de transporte pouco utilizadas
Alta	Permanente	10 ou menos	- Perda/deterioração significativa habitat natural de vida silvestre ou aquática importantes - Restauração e compensações altamente possível	Perdas econômicas elevadas com consequências a infraestrutura, transporte público, e instalações comerciais
Muito Alta	Permanente	100 ou menos	- Perda/deterioração significativa de habitats naturais de vida silvestre ou aquática críticos - Restauração e compensações possíveis, mas impraticáveis	Perdas econômicas muito elevadas, afetando infraestrutura e serviços importantes (ex: rodovias, instalações industriais e de armazenamento de substâncias perigosas)

Extrema	Permanente	mais de 100	- Perda/deterioração grave de habitats naturais de vida silvestre ou aquática - Restauração e compensações impossíveis	Perdas extremas afetando infraestrutura e serviços críticos (ex: hospitais, grandes complexos industriais e de armazenamento de substâncias perigosas)
---------	------------	-------------	---	--

-Nota 1: Definição de população em risco
Nenhuma - Não é verificada população em risco, não havendo possibilidade de perda de vidas além daquelas ligadas a qualquer infortúnio.
Temporária - Pessoas que estão apenas de forma temporária na zona de inundação (ex: ocupação residencial sazonal, transeuntes em rotas de transporte, participação em atividades recreativas).
Permanente - A população em risco está habitualmente localizada na zona de inundação (ex: moradores permanentes); três classes de consequência (alta, muita alta e extrema) são propostas para permitir uma estimativa mais detalhada do potencial perda de vidas (para assistir o processo de tomada de decisões se análises apropriadas são feitas);

-Nota 2: Implicações a perdas de vida
Não especificada - O nível apropriado de segurança em uma barragem onde pessoas estão temporariamente em risco depende do número de pessoas, do tempo de exposição, a natureza de sua atividade e outras condicionantes. Uma classe maior pode ser apropriada dependendo das exigências. No entanto, as exigências da análise de cheias, por exemplo, não pode ser maior se a população temporária não é provável de estar presente durante a temporada de cheias.

Fonte: Modificada de Dam Safety Guidelines (2007)

Portanto, para a classificação quanto ao período de retorno, a probabilidade anual considerada será de 1/10.000, conforme apresentado na Tabela 11-5.

Tabela 11-5: Tempo de Retorno de Sismo do Projeto

Classificação (nota 1)	Probabilidade de excedência anual - Cheias (nota 2)	Probabilidade de Excedência anual - Terremotos (nota 3)
Baixa	1/100	1/100
Significativa	Entre 1/100 e 1/1.000 (nota 4)	Entre 1/100 e 1/1.000
Alta	1/3 entre 1/1.000 e PMF* (nota 5)	1/2.475 (nota 6)
Muito Alta	2/3 entre 1/1.000 e PMF* (nota 5)	1/2 entre 1/2.475 e 1/10.000 ou MCE* (nota 5)
Extrema	PMF* (nota 5)	1/10.000 ou MCE* (Nota 5)

*PMF – probable maximum flood (máxima cheia provável); MCE – maximum credible earthquake (maior sismo credível); AEP – annual exceedance probability (probabilidade de excedência anual);

1 - Como definido na Tabela 4.1 - Classificação de Barragem;

2 - Simples extrapolação das estatísticas de cheias além de 10-3 AEP não é aceitável;

3 - Valores médios do intervalo estimado nos níveis de AEP para terremotos devem ser usados;
4 - Selecionado com base na análise incremental de cheias, exposição, e consequência de falha;
5 - PMF e MCE não tem AEP associados;
6 - Esse nível foi escolhido para garantir compatibilidade com o estabelecido nas normas de construção canadenses.

Fonte: Modificada de Dam Safety Guidelines (2007)

No Brasil, existe a norma sísmica da ABNT, NBR-15421/2006, baseada nos resultados do projeto mundial GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program). Esta norma prevê, na maior parte do Brasil, acelerações menores do que 2,50% g (para locais em rocha), e referem-se a períodos de retorno de 475 anos (probabilidade de excedência de 10% em 50 anos). Estudos mais detalhados da sismicidade do Brasil nos últimos anos sugerem que várias outras zonas sísmicas não foram consideradas adequadamente no projeto GSHAP e acabaram não sendo representadas no mapa da ABNT.

Em 2016, Assumpção *et al.* (2016), apresenta um mapa preliminar de atualização de ameaça sísmica, o qual foi publicado no Boletim nº 96/2016 da Sociedade Brasileira de Geofísica (SBGf, 2016). Esse mapa considera a aceleração de pico (PGA) em rocha, para probabilidades de 2% de excedência em 50 anos. O posicionamento da Barragem Dique D-03, nesse mapa, é apresentado na Figura 11.2.

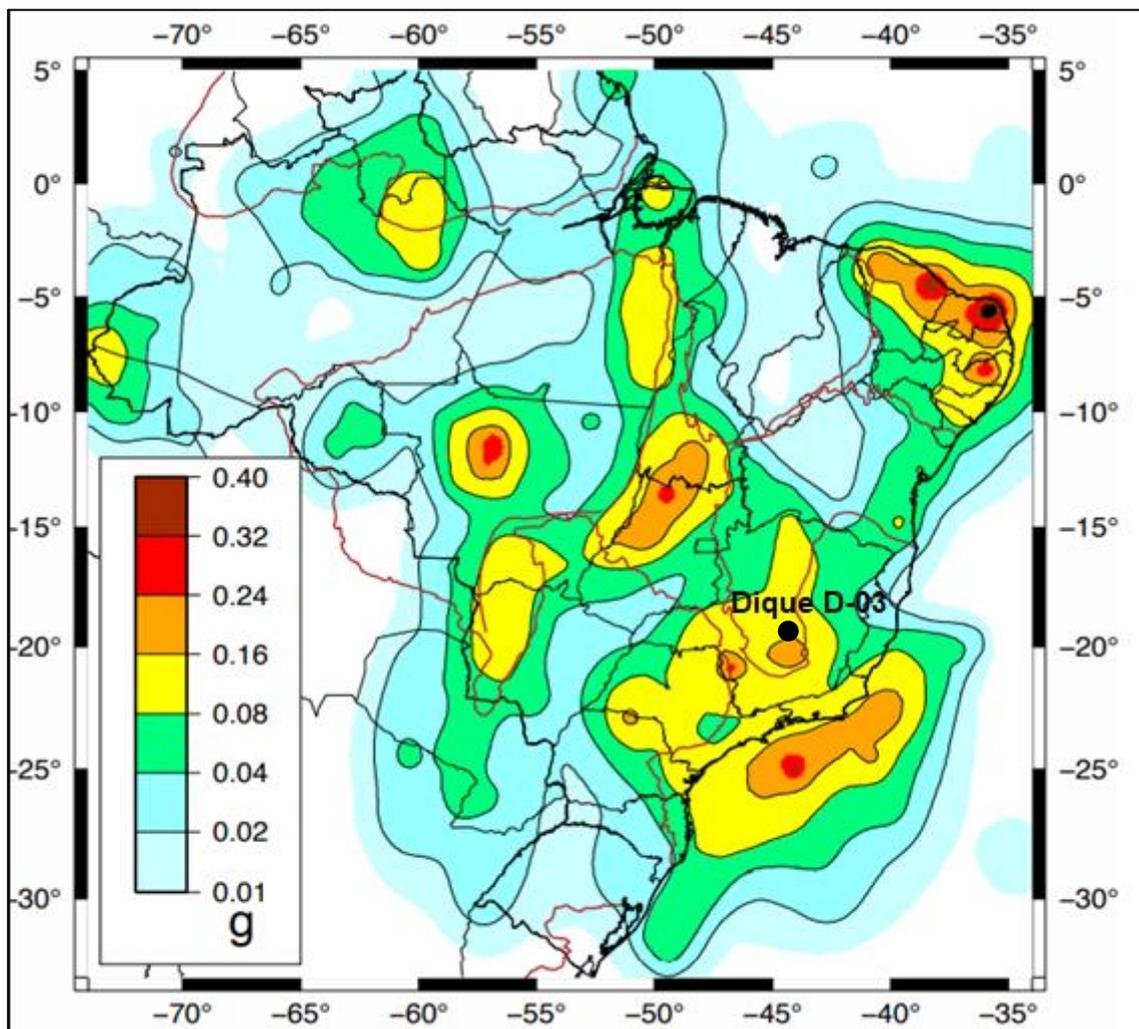


Figura 11.2: Mapas de Ameça Sísmica para período de retorno 2475 anos

Fonte: modificado de SBGf (2016)

Conforme o mapa apresentado na Figura 11.2 a Barragem Dique D-03 está inserida na zona com aceleração máxima entre 0,16 g e 0,24 g. Portanto, o valor do coeficiente de aceleração sísmica horizontal (K_h) nas análises pseudo-estáticas, de acordo com este estudo, deve estar entre 0,08 g e 0,12 g (50% do PGA, conforme Corpo de Engenheiros, 1982; Marcuson e Franklin, 1983; Hynes-Griffin e Franklin, 1983).

Em função da faixa de valores obtidos para a aceleração horizontal, será adotado o valor médio de valor de 0,10 g para a aceleração horizontal nas análises de estabilidade na condição pseudo-estática.

11.1.6 Análises de Estabilidade

Os cenários analisados são aqueles apresentados na Tabela 11-2 do item 11.1.1.

11.1.6.1 Fase final de construção

Para este cenário foi adotado nível de reservatório seco (condição normal).

As análises são apresentadas a seguir.

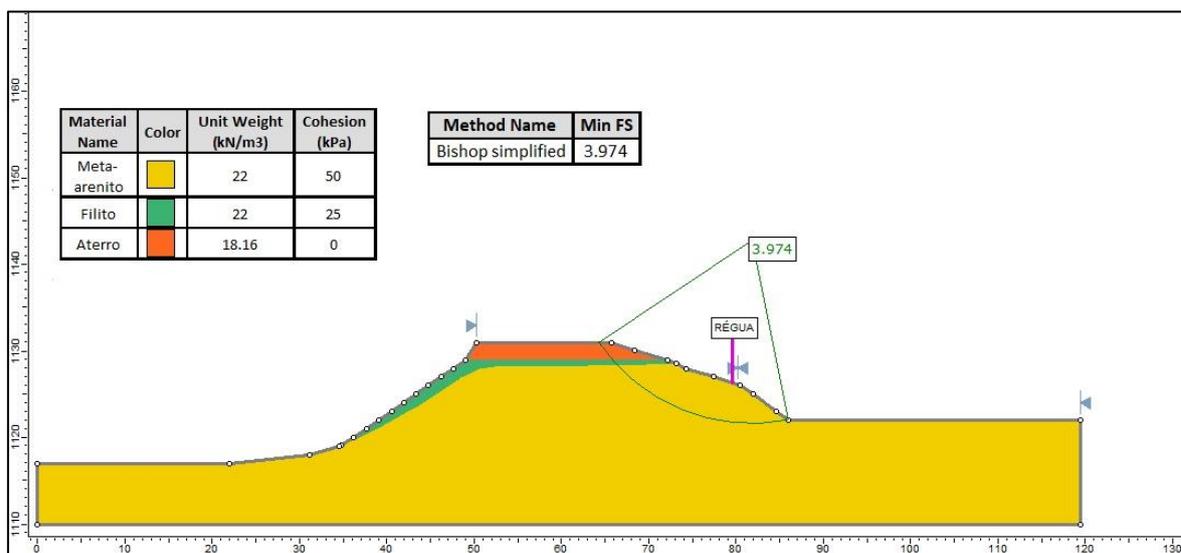


Figura 11.3: Seção A-A' Fase final de construção – Bishop Simplificado – Circular – Montante – Global

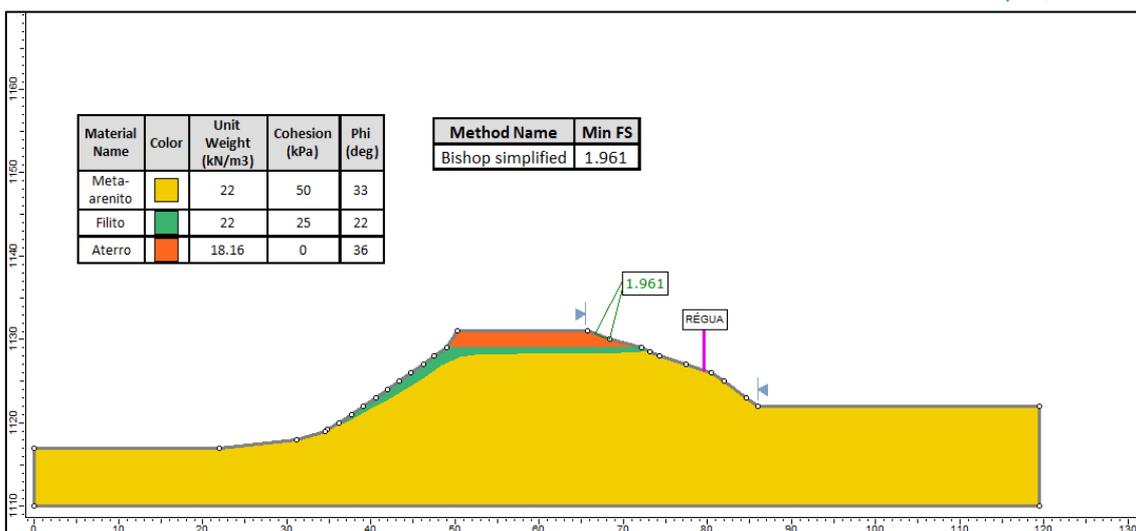


Figura 11.4: Seção A-A' Fase final de construção – Bishop Simplificado – Circular – Montante – Local

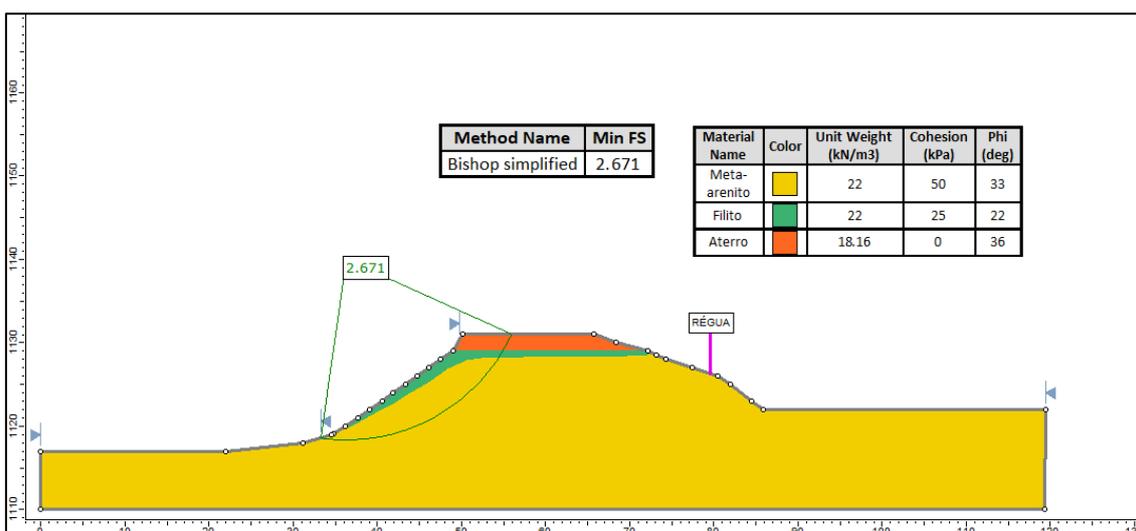


Figura 11.5: Seção A-A' – Fase final de construção – Bishop Simplificado – Circular – Jusante – Global

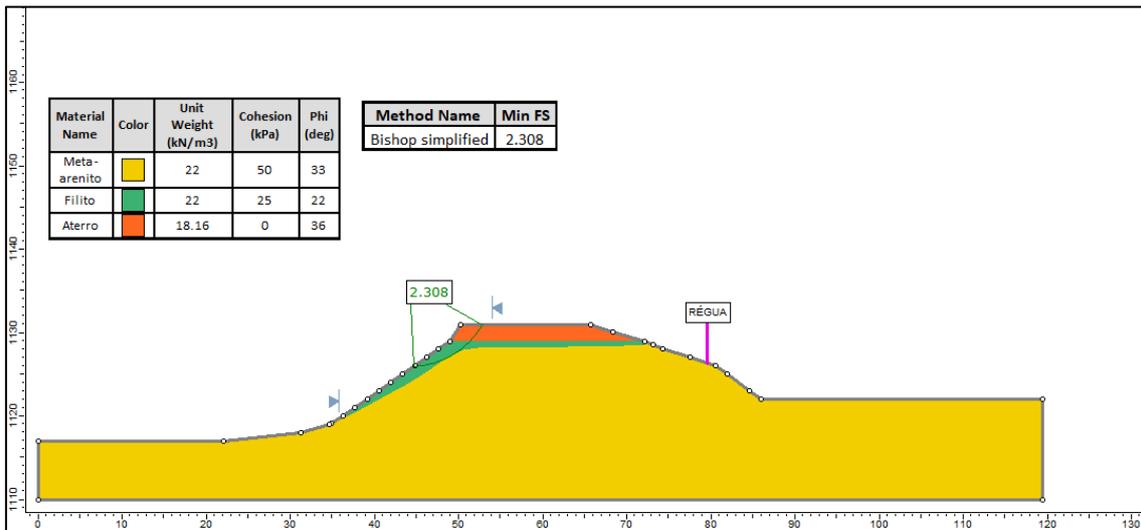


Figura 11.6: Seção A-A' – Fase final de construção – Bishop Simplificado – Circular – Jusante – Local

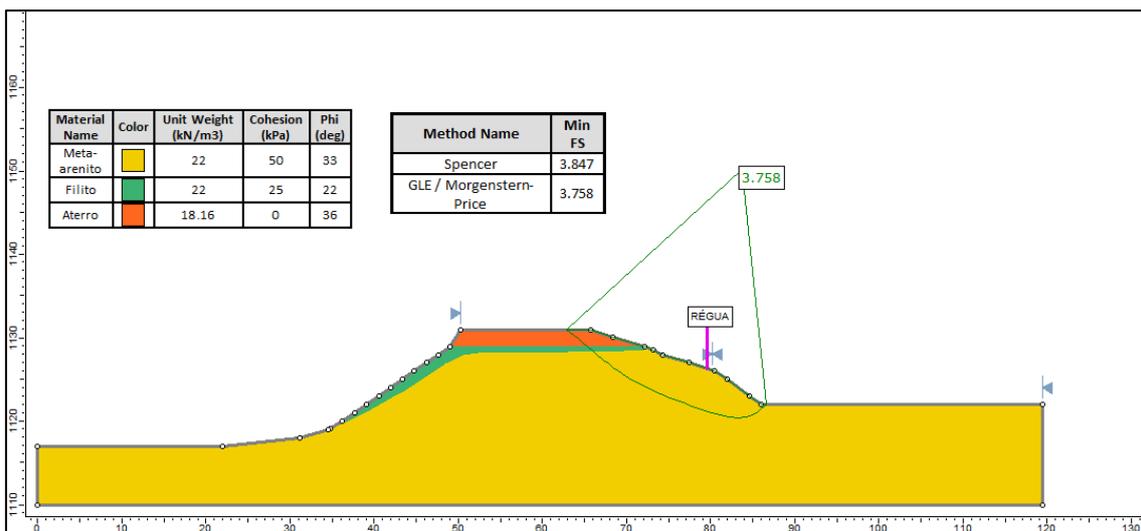


Figura 11.7: Seção A-A' – Fase final de construção – Spencer e Morgenstern Price – Não Circular – Montante – Global

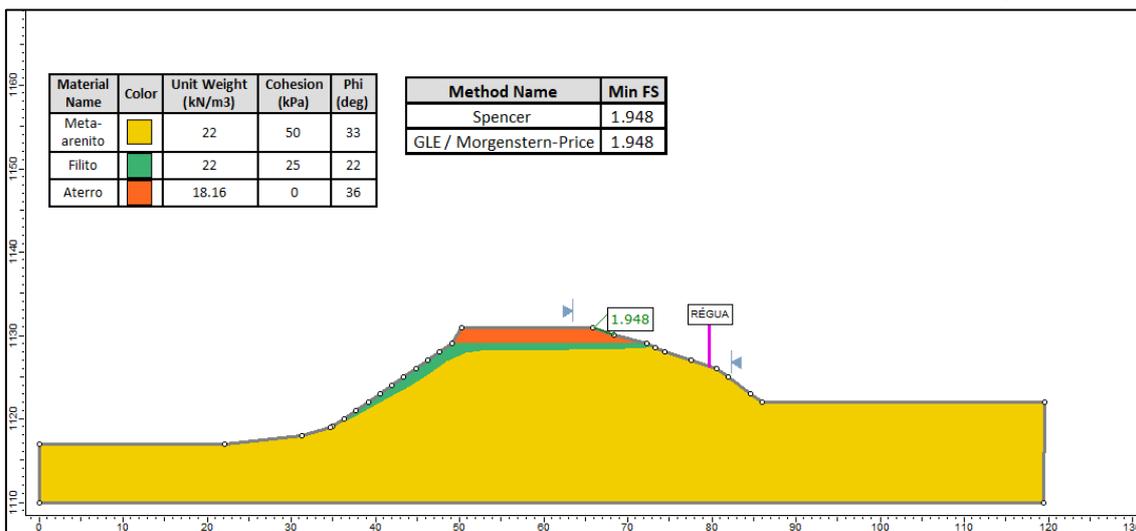


Figura 11.8: Seção A-A' – Fase final de construção – Spencer e Morgenstern Price – Não Circular – Montante – Local

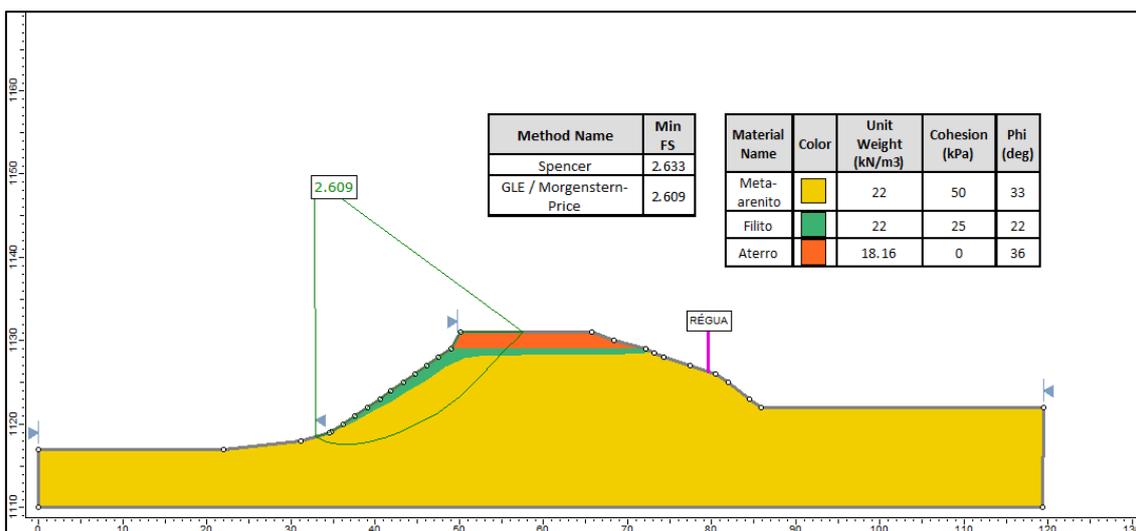


Figura 11.9: Seção A-A' – Fase final de construção – Spencer e Morgenstern Price – Não Circular – Jusante – Global

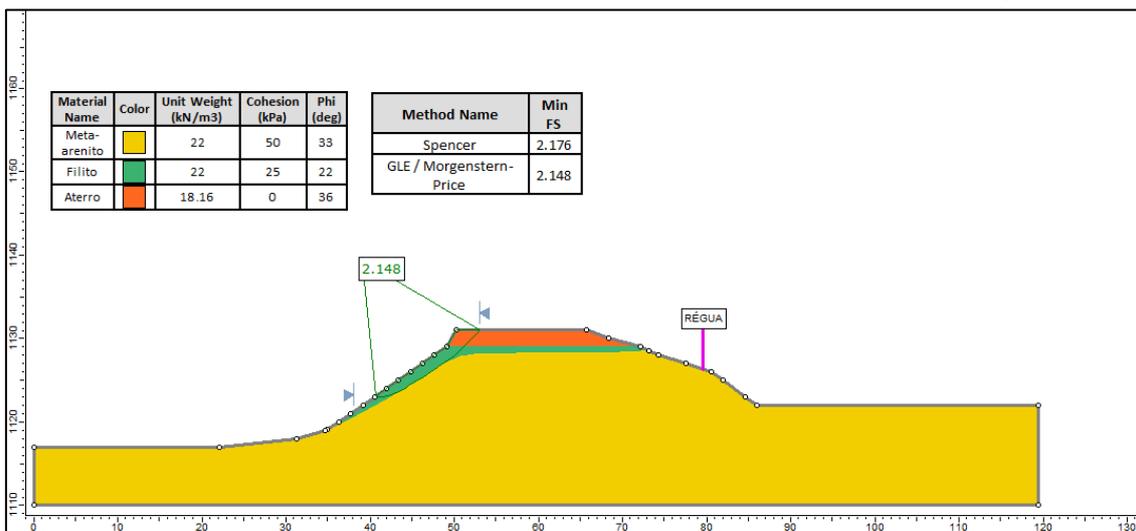


Figura 11.10: Seção A-A' – Fase final de construção – Spencer e Morgenstern Price – Não Circular – Jusante – Local

11.1.6.2 Condição normal de operação

Para este cenário, foi adotado nível de reservatório seco, condição de normalidade da estrutura.

As análises são apresentadas a seguir.

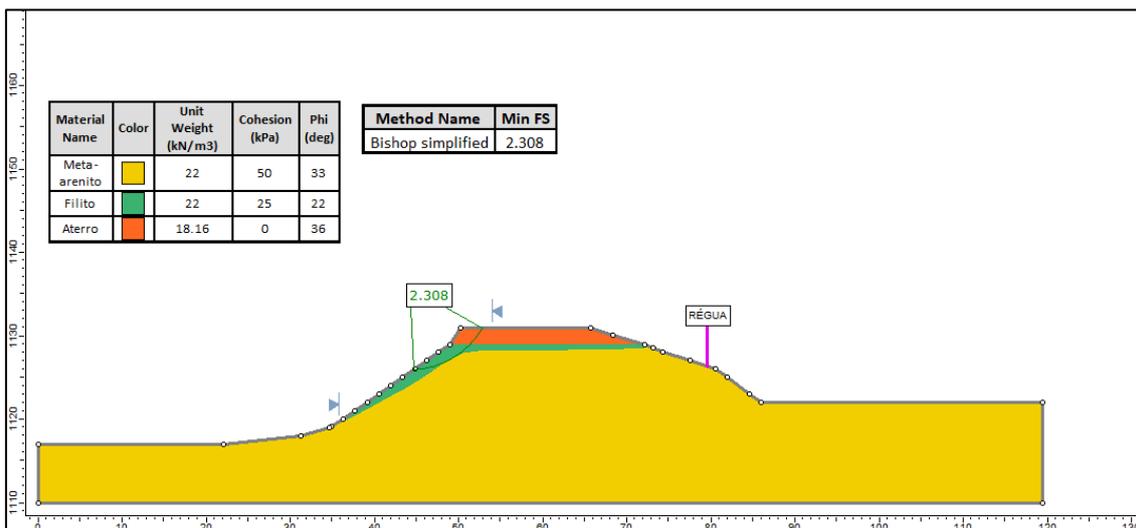


Figura 11.11: Seção A-A' – Condição Normal de Operação - Bishop Simplificado – Circular – Jusante – Local

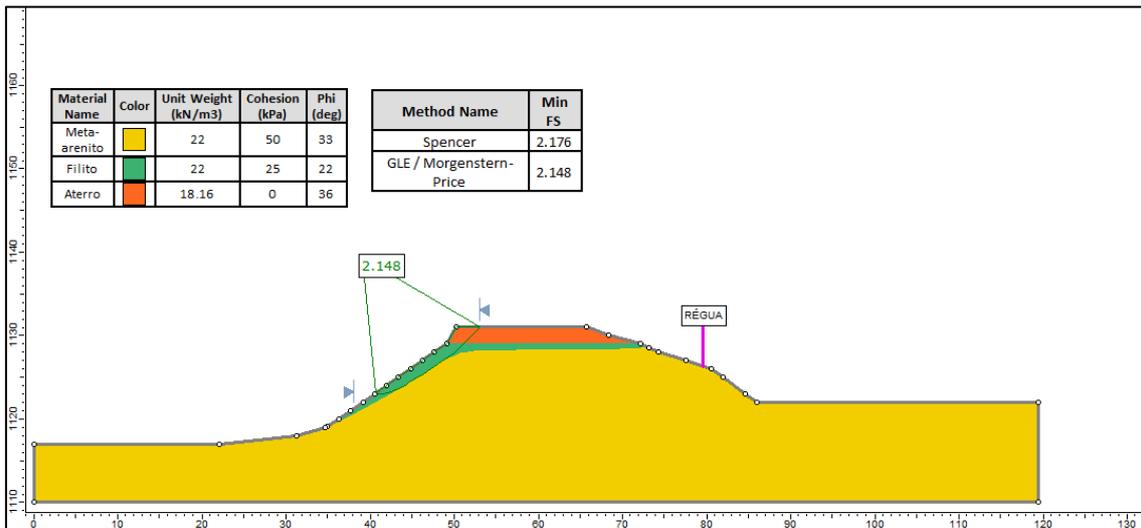


Figura 11.12: Seção A-A' – Condição Normal de Operação - Bishop Simplificado – Não Circular – Jusante – Local

11.1.6.3 Condição extrema de operação

Para este cenário, considerou-se o N.A. máx. máximum da estrutura. A condição crítica foi simulada considerando-se a linha freática elevada no maciço até a cota 1.128 m. As análises de estabilidade são apresentadas a seguir.

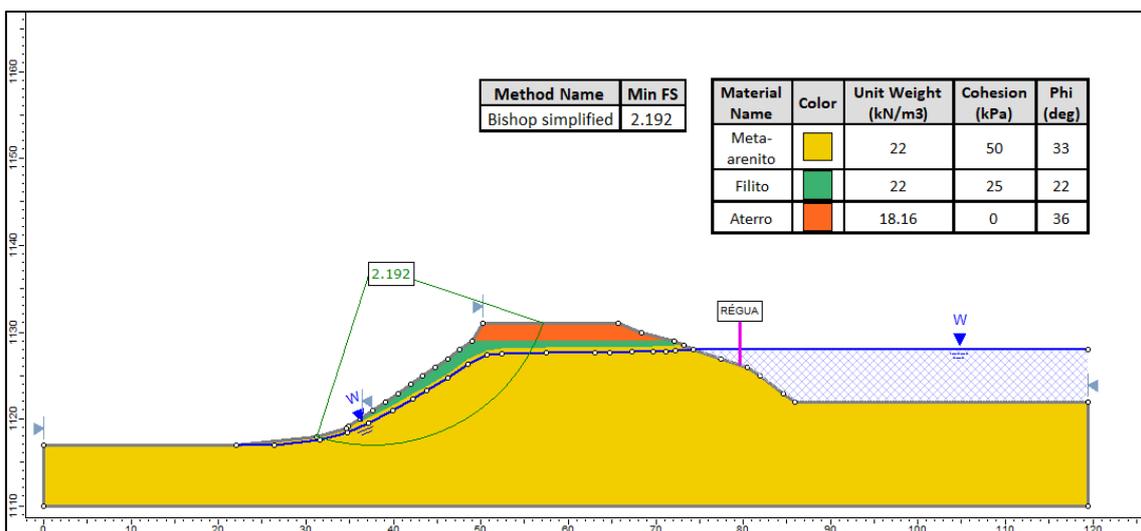


Figura 11.13: Seção A-A' – Condição Extrema de Operação - Bishop Simplificado – Circular – Jusante - Global

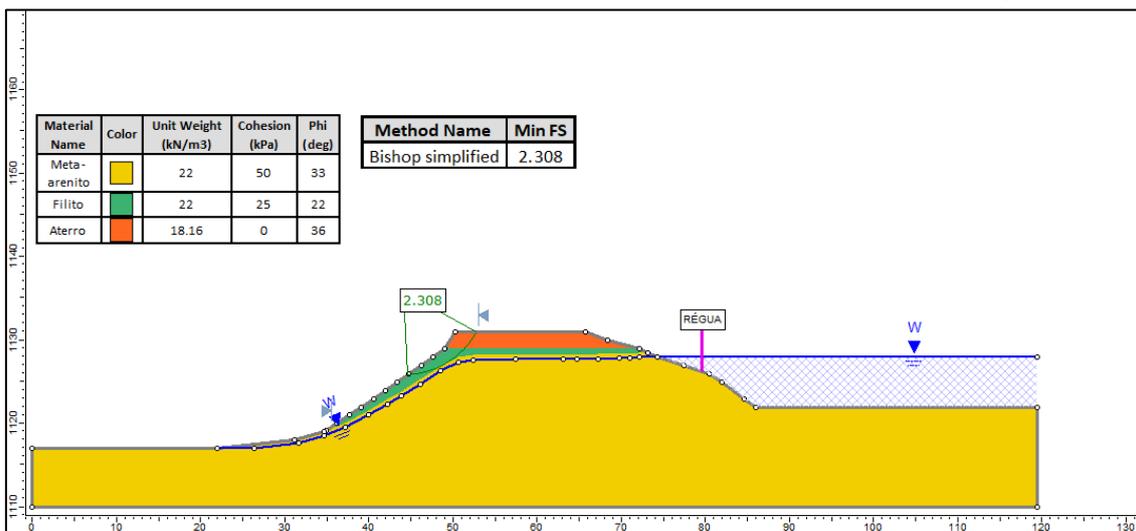


Figura 11.14: Seção A-A' Condição extrema de operação – Bishop Simplificado – Circular – Jusante – Local

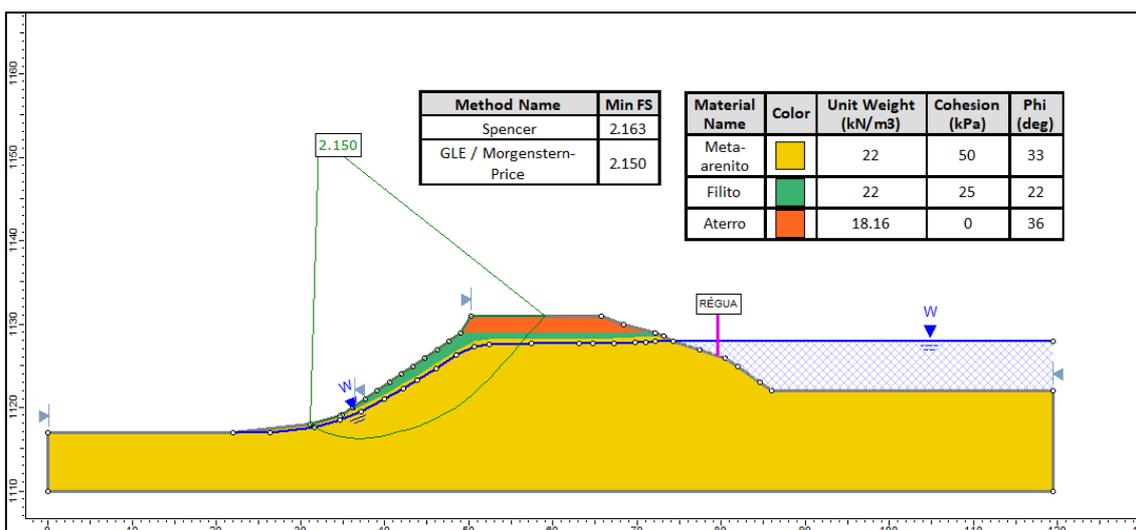


Figura 11.15: Seção A-A' Condição extrema de operação – Spencer e Morgenstern Price – Jusante – Não Circular – Global

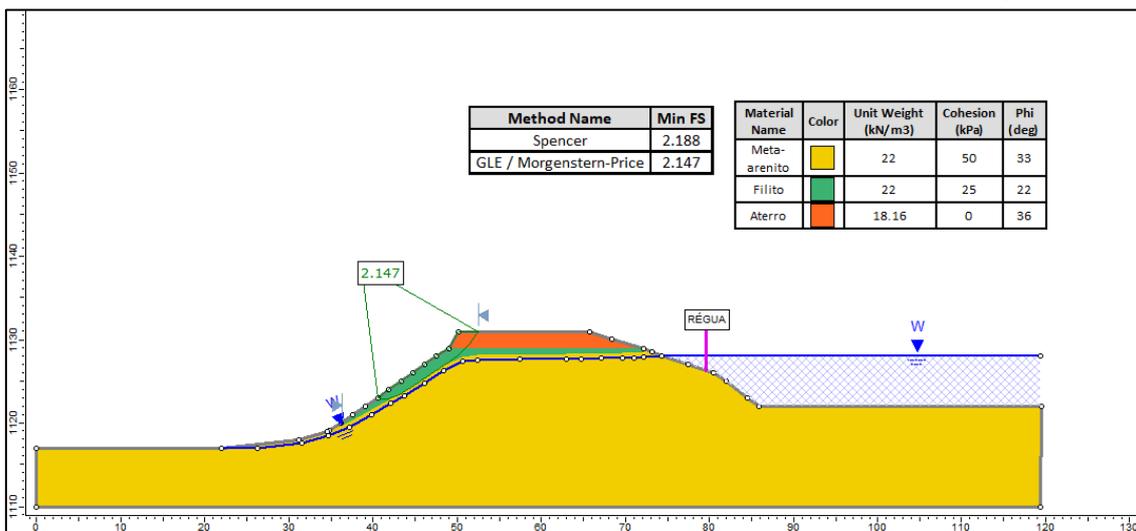


Figura 11.16: Seção A-A' Condição extrema de operação – Spencer e Morgenstern Price – Jusante – Não Circular – Local

11.1.6.4 Solicitação Sísmica – Montante

Para este cenário, foi analisado o desempenho do talude de Montante perante uma solicitação sísmica pseudo-estática, adotando-se às acelerações correspondem a 0,1g na direção horizontal, conforme supra apresentado. As análises de estabilidade são apresentadas a seguir.

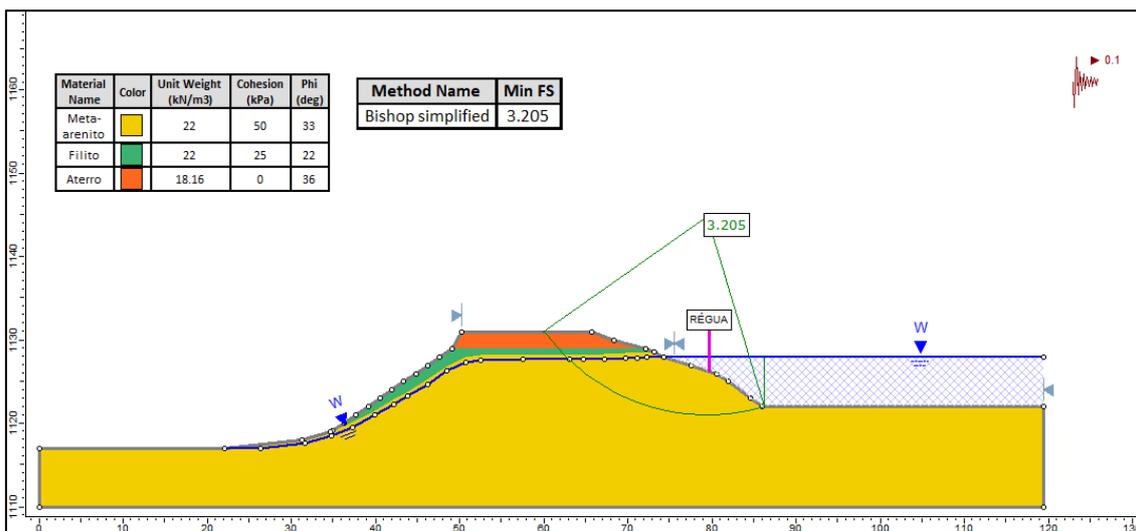


Figura 11.17 Seção A-A' Solicitação Sísmica – Montante – Bishop Simplificado – Circular – Global

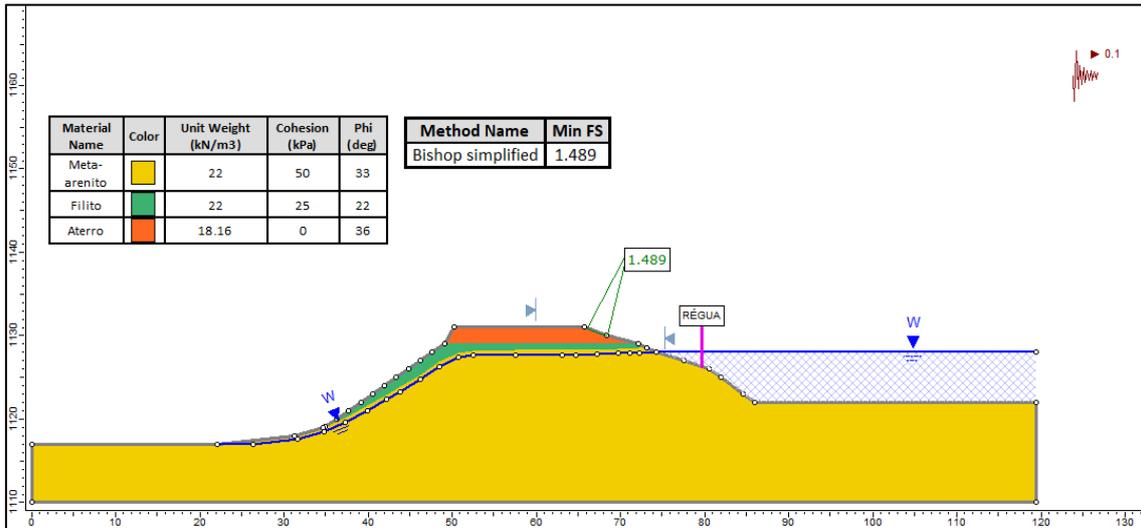


Figura 11.18 Seção A-A' Solicitação Sísmica – Montante – Bishop Simplificado – Circular – Local

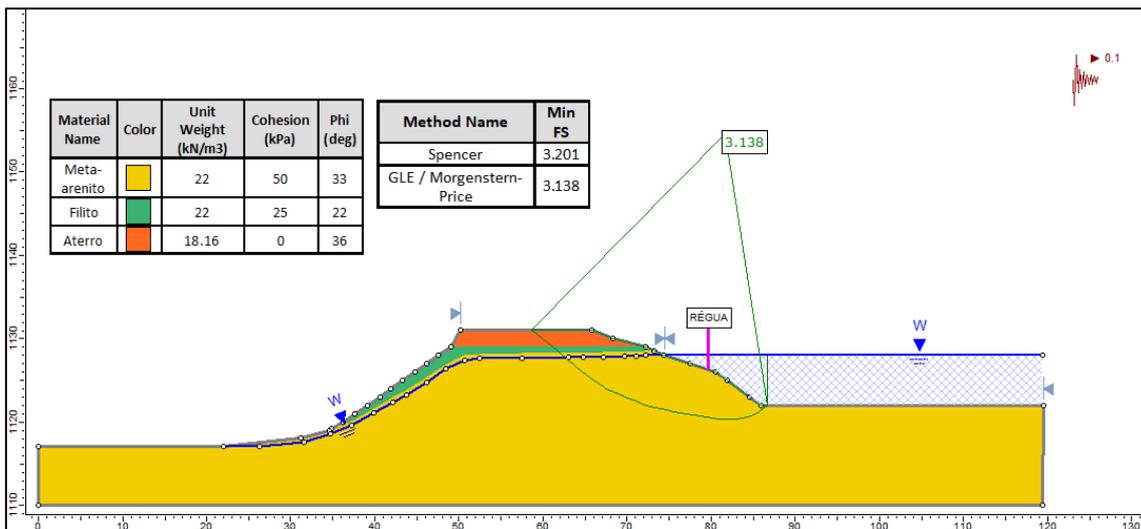


Figura 11.19 Seção A-A' – Solicitação Sísmica – Montante – Spencer e Morgenstern Price – Não Circular – Global

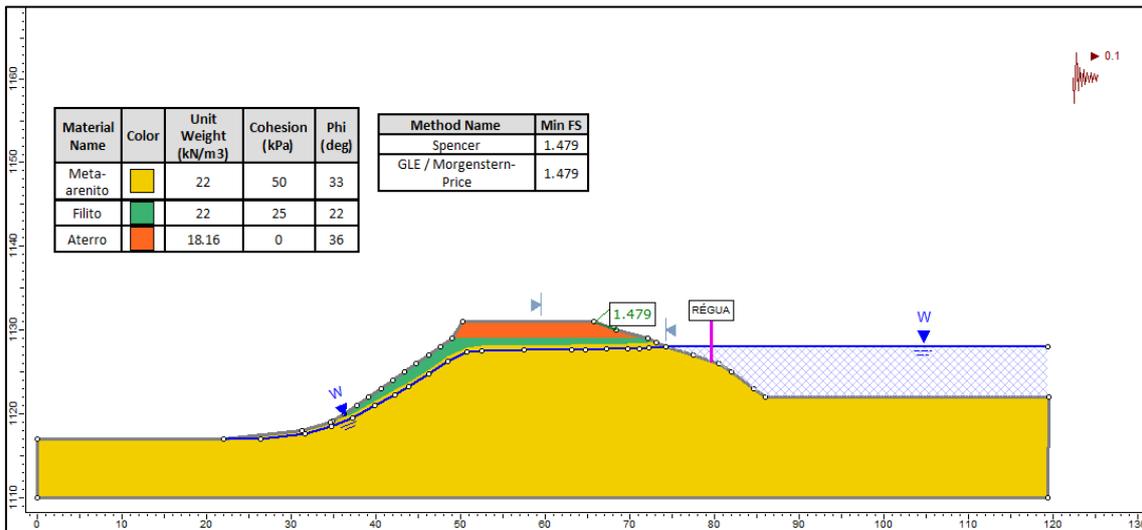


Figura 11.20 Seção A-A' – Solicitação Sísmica – Montante – Spencer e Morgenstern Price – Não Circular – Local

11.1.6.5 Solicitação Sísmica - Jusante

Para este cenário, foi analisado o desempenho dos taludes de jusante e montante perante uma solicitação sísmica pseudo-estática, adotando-se às acelerações correspondem a 0,10g na direção horizontal, conforme supra apresentado. As análises de estabilidade são apresentadas a seguir.

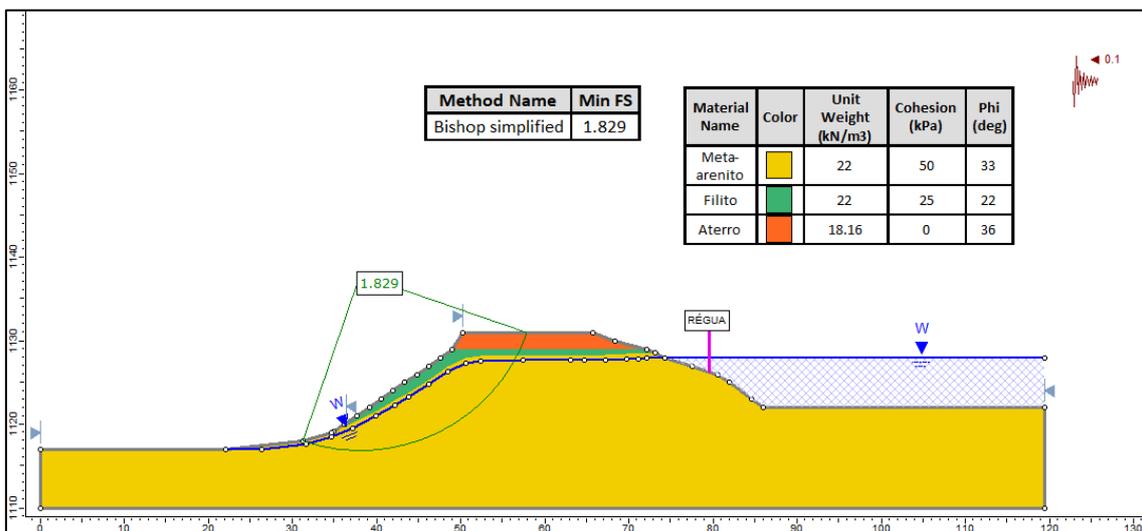


Figura 11.21 Seção A-A' Solicitação Sísmica – Jusante – Bishop Simplificado – Circular – Global

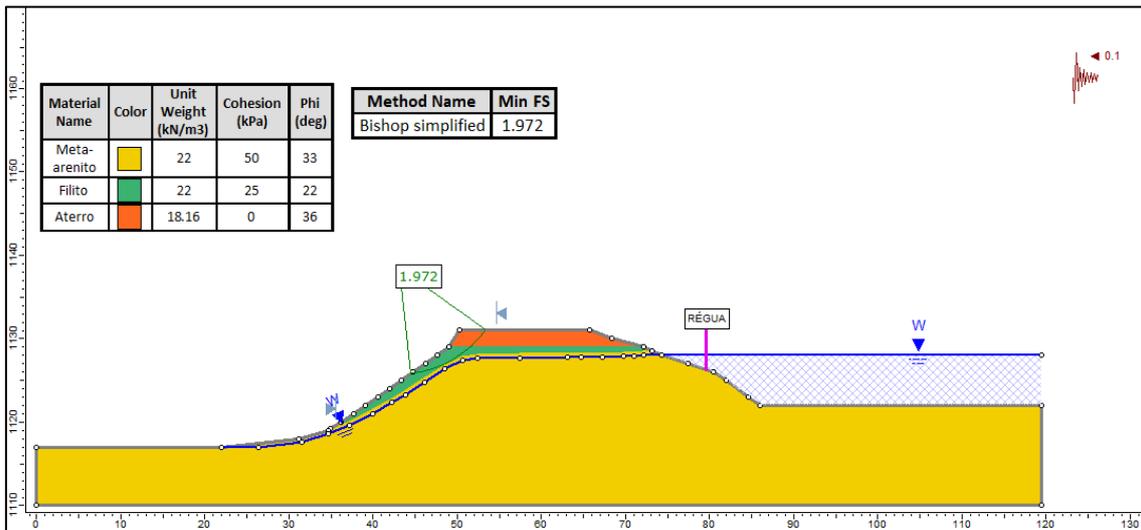


Figura 11.22 Seção A-A' Solicitação Sísmica – Jusante – Bishop Simplificado – Circular – Local

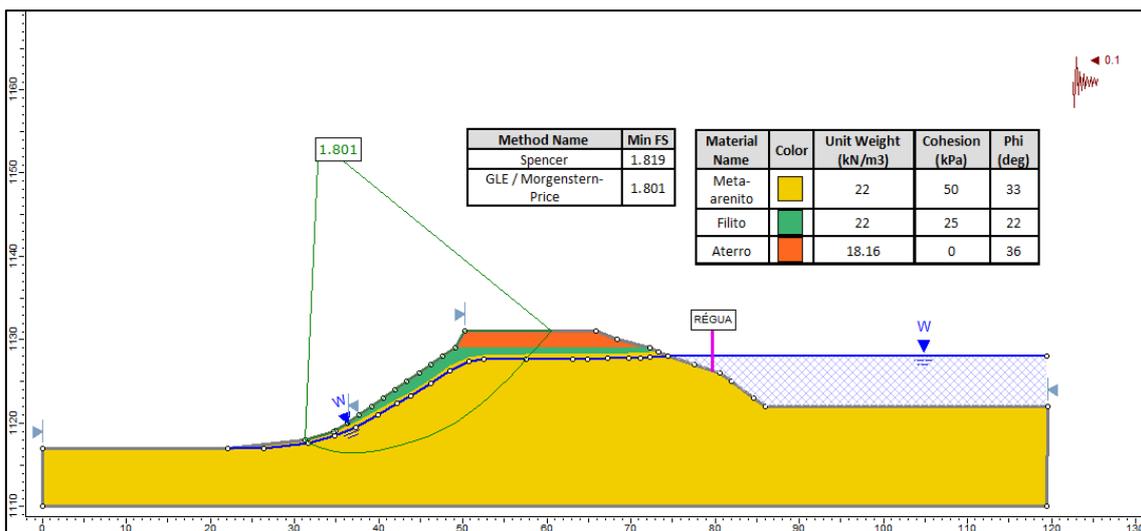


Figura 11.23 Seção A-A' – Solicitação Sísmica Jusante – Spencer e Morgenstern Price – Não Circular – Global

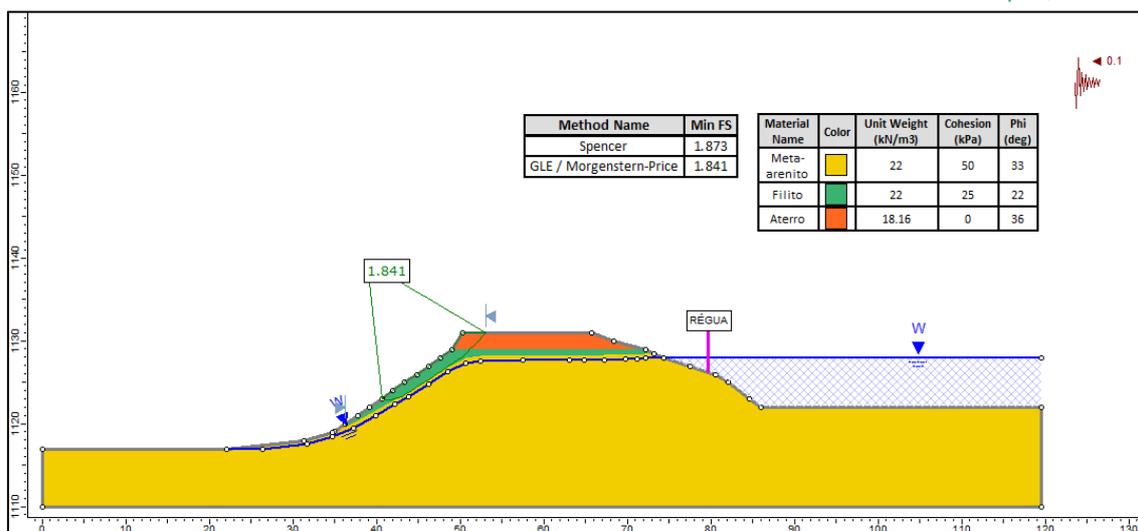


Figura 11.24 Seção A-A' - Solicitação Sísmica Jusante - Spencer e Morgenstern Price – Não-Circular - Local

11.1.7 Resultados

Através das análises de estabilidade apresentadas, conclui-se que a Barragem Dique D-03 se encontra com fatores de segurança acima dos mínimos recomendados pela ABNT NBR 13028/2017. A Tabela 11-6 apresenta um resumo dos resultados.

Tabela 11-6: Síntese dos resultados das análises de estabilidade realizadas.

Cenário	Talude	F.S. Mínimo	F.S M&P	F.S Spencer	F.S. Bishop
Seção A-A'					
Final de construção	Montante - Global	1.3	3.7	3.8	3.9
	Montante - Local	1.3	1.9	1.9	1.9
	Jusante – Global ¹	1.3	2.6	2.6	2.6
	Jusante – Local ²	1.3	2.1	2.1	2.3
Operação com rede de fluxo em condição normal, nível máximo do reservatório	Jusante – Global ¹	1.5	2.6	2.6	2.6
	Jusante – Local ²	1.5	2.1	2.1	2.3

Cenário	Talude	F.S. Mínimo	F.S M&P	F.S Spencer	F.S. Bishop
Operação com rede de fluxo em condição extrema, nível máximo do reservatório	Jusante – Global	1.3	2.1	2.1	2.1
	Jusante – Local	1.3	2.1	2.1	2.3
Operação com rebaixamento rápido do nível d'água do reservatório*	Montante	1.1	-	-	-
Operação com rede de fluxo em condição normal	Jusante – local ²	1.5	2.1	2.1	2.3
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Montante - Global	1.1	3.1	3.2	3.2
	Montante - Local	1.1	1.4	1.4	1.4
	Jusante - Global	1.1	1.8	1.8	1.8
	Jusante - Local	1.1	1.8	1.8	1.9
Análise de estabilidade na condição não drenada – Ruptura global ou local*	Jusante	1.3	-	-	-
* Cenários não aplicáveis a Barragem Dique D-03					
¹ Cenários equivalentes para a Barragem Dique D-03					
² Cenários equivalentes para a Barragem Dique D-03					

12 CARTA DE RISCO

Uma vez que a estrutura não é dotada de sistema de auscultação, não é possível a elaboração de uma carta de risco. Cabe ressaltar que a estrutura não tem a função de disposição de rejeitos nem de mineração e nem industrial, sendo utilizada apenas para conter águas pluviais.

De acordo com a documentação fornecida pelo empreendedor, o monitoramento do nível de água no reservatório é feito através de registros fotográficos semanais, e a estrutura dispõe de uma régua linimétrica onde no maior registro pluviométrico registrado no empreendimento, o nível atingiu no máximo a base da régua.

Como apresentado no item 10, o principal modo de falha a qual a estrutura está sujeita é o de erosão interna em caso de percolação e fluxo pelo corpo do barramento, o que já ocorreu. Após o incidente, foram realizadas adequações com o aprofundamento do reservatório de maneira que se definiu a cota de 1,70 m da régua linimétrica como nível máximo de segurança para a estrutura. A extrapolação deste nível, colocaria a barragem em condições de instabilidade e sujeita a erosão interna. Contudo, como relatado, em seu maior nível já registrado após as adequações do reservatório, incluindo a maior precipitação da série histórica registrada no período chuvoso de 2020/2021, o volume acumulado chegou no máximo ao pé da régua linimétrica.

13 SEGURANÇA OPERACIONAL

A Barragem Dique D-03 tem a função de contenção de água pluviais, tendo passado por adequações em 2018 após incidente causado por percolação no interior do maciço que ocasionou erosão interna e movimentação de massa no talude de jusante. As adequações incluíram rebaixamento da estrutura, aprofundamento do reservatório e instalação de régua linimétrica com determinação de nível de segurança do nível do reservatório.

Do ponto de vista de segurança, as adequações surtiram o efeito desejado de acomodação e infiltração, pelo fundo do reservatório, das águas pluviais que drenam para o interior da estrutura. O monitoramento dos níveis de água no reservatório é feito semanalmente através de registros fotográficos.

Quanto a barragem, é satisfatório o seu comportamento, como mostrado pelos registros fotográficos de monitoramento do nível do reservatório constantes no documento Registro_fotográfico_D-03_Ciclo_4_Set-20_Ago-21.

14 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente Relatório Técnico de Segurança de Barragem foi desenvolvido conforme Termo de Referência para a Elaboração do Relatório Técnico de

Auditoria de Segurança de Barragens”, elaborado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM em setembro de 2020.

Como conteúdo deste documento, foi incluída a análise crítica da documentação fornecida pelo empreendedor, a caracterização da estrutura e dos materiais construtivos, o monitoramento fotográfico do reservatório, a inspeção de campo, a avaliação da estabilidade da barragem e as avaliações dos estudos hidrológicos. Ademais, apresenta-se a classificação quanto a categoria de risco e dano potencial associado, a manifestação de ciência e concordância por parte do empreendedor, bem como a declaração da condição de estabilidade da estrutura.

Para subsidiar as avaliações apresentadas neste documento foram analisados os estudos e projetos realizados na estrutura. Através da análise dos documentos, percebeu-se que há limitações quanto caracterização geotécnica dos materiais da estrutura e, portanto, não é bem definido o comportamento dos materiais que a constitui. Assim, é recomendado que seja realizada campanha de investigação geológica geotécnica desses materiais, visando conhecer o seu real comportamento.

Além da avaliação dos documentos, o presente relatório fundamentou-se nas informações obtidas a partir da inspeção de campo realizada no mês de outubro de 2022. Foram avaliadas as condições da crista, dos taludes de montante e de jusante, das ombreiras direita e esquerda, do reservatório e do sistema de drenagem superficial. De maneira geral os componentes da estrutura encontram-se em boas condições de conservação, destacando-se a presença de elementos arbóreos de grande porte na ombreira direita e movimentação pontual de blocos na face do talude de jusante.

Quanto ao histórico de conservação da estrutura, o monitoramento é feito através de registro fotográfico semanal do nível do reservatório, que de forma geral se apresenta seco. De acordo com a documentação disponibilizada é

realizado desassoreamento do reservatório com periodicidade anual. Não foram observadas anomalias que comprometam a segurança da estrutura.

Através da análise das inspeções semanais realizadas, conclui-se que o registro fotográfico para monitoramento do nível d'água no reservatório apresenta resultado satisfatório ao que se propõe, sendo suficiente para monitorar o comportamento da superfície freática da estrutura.

Os materiais que compõem a estrutura foram caracterizados tendo por base as informações disponibilizadas e a visita de campo, uma vez que não há sondagens geológica-geotécnicas nem ensaios de caracterização. Os materiais que compõem a estrutura incluem o aterro composto por mistura de solo residual e cacos de blocos de cimento autoclavados, camada delgada de filito e fundação composta por meta-arenito.

Foi avaliada a suscetibilidade à liquefação dos materiais que constituem a estrutura. Dadas as características da fundação, composta por meta-arenito, a estrutura não é susceptível a liquefação.

Quanto aos modos de falha foram considerados galgamento e erosão interna (piping). O risco de galgamento da estrutura deve-se ao fato de a barragem não possuir segurança hidráulica para um evento extremo com TR de 10.000, bem como para eventos com mais de 3 dias com TR de 1.000 ou 5 dias com TR de 500 em condições sem bombeamento. Já o piping deve-se a possível percolação de água pelo maciço da barragem, composta por material menos denso que a água e, por isso, susceptível a ser carregado. Cabe ressaltar que, conforme previsto no manual de operação, em períodos chuvosos será instalada bomba no interior da estrutura para garantir que a mesma não seja galgada ou sofra erosão interna por percolação, desta forma, pode-se controlar e garantir a condição de segurança hidráulica do barramento.

O DPA da Barragem Dique D-03 é classificado como baixo, uma vez que não há risco de perda de vidas humanas e estruturas socioeconômicas, causando, no entanto, impacto ambiental significativo em caso de rompimento. Quanto, as características técnicas, o estado de conservação, e o plano de segurança da barragem classificam-na na categoria de risco baixo, visto que a barragem apresenta estado satisfatório de conservação e é previsto no manual de operação o bombeamento da água que porventura venha a acumular no interior do reservatório.

As análises de estabilidade indicaram que a Barragem Dique D-03 encontra-se em condições adequadas de operação quando ao equilíbrio limite, atendendo as premissas e critérios da ABNT: NBR 13.028/2017. Em todos os cenários analisados a estabilidade global apresenta valores de FS satisfatórios com relação a norma. Quanto as análises de estabilidade local, o talude de montante também apresenta valores em conformidade com a norma. Para o talude de jusante verificou-se que a inclinação da porção superior da camada de aterro compromete o resultado quanto a erosões superficiais, mas que não comprometem a estabilidade da estrutura. A remoção ou adequação da inclinação da porção superior do aterro, composta pela mistura de cacos de bloco autoclavados com solo, conferiria maior estabilidade para esta região do maciço

A avaliação quanto à passagem de cheias indicou que a estrutura não possui segurança hídrica quando avaliadas chuvas intensas de 10.000 anos de tempo de retorno durante período de 2 dias, TR de 1.000 durante período de 3 dias e TR de 500 para um período de 5 dias. Para tal, conforme manual de operação, é previsto bombeamento da água que possa vir a acumular no interior do reservatório, o que garante a segurança hídrica da estrutura. Dessa forma, a Barragem Dique D-03, quanto a seus aspectos hidráulico-hidrológicos está de acordo com as recomendações da ABNT NBR 13.028:2017.

15 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRASIL. 2012. Engecorps Engenharia. Agência Nacional de Águas (Org.). Elaboração de Estudos para Concepção de um Sistema de Previsão de Eventos Críticos na Bacia do Rio Paraíba do Sul e de um Sistema de Intervenções Estruturais para Mitigação dos Efeitos de Cheias nas Bacias dos Rios Muriaé e Pomba e Investigações de Campo Correlatas. Estudos de Ruptura de Barragens. Brasília: Engecorps, 113 p.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e suas aplicações. Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra. 6ª edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988.

DORR II, J.V.N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Washington: U.S. Geological Survey, Prof. Paper 641-A, 1969. 110 p.

DORR II, J.V.N., GAIR, J.E., POMERENE, J.B.,RYNEARSON, G.A. Revisão da estratigrafia pré- cambriana do Quadrilátero Ferrífero – Brasil. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 31 p. 1957. [Boletim Avulso, 81 - DFPM]

GAIR, J .E. The Sabará Formation. Soc. Bras. Geol., Bol., 7 (2): 68-69. 1958. Harder e Chamberlin (1915)

MAXWELL, C.H. The Batatal Formation. Sociedade Brasileira de Geologia, Vol., 7 (2): 60-1. 1958.

MOORE, S.L. Geology and ore deposits of the Antonio dos Santos, Gongo Soco, and Conceição do Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Washington: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 341-I, 50 p. 1969.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/Carlos de Sousa Pinto. – São Paulo: Oficina de Textos, 2000-02-15.

POMERENE, J.B. Geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Macacos Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Washington: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 341, 84 p. 1964. Projeto Radar Minas Gerais (1978)

RENGER, F.E. et al. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Geonomos, 1995.

Silva, R.C., Cavalcante, D.M.P., Pedroso, L.J., Albuquerque, A.L. 2007. Estudo do comportamento de barragens gravidade de concreto sob ação do galgamento: análise de tensões e estabilidade. Comitê Brasileiro de Barragens. XXVII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belém, 1-21.

SIMMONS, G.C. The Fecho do Funil Formation. Soc. Bras. Geol., Bol., 7 (2): 65-6. 1958.

SIMMONS, G.C. Geology and mineral resources of the Barão de Cocais area, Minas Gerais, Brazil. Washington: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 341-H, 46p. 1968.

VARGAS, Milton. Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. Fundações. 2ª edição, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1996.

WALLACE, R.M. Geology and mineral resources of the Pico de Itabirito District, Minas Gerais, Brazil. Washington: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 341-F, 68 p. 1965.

16 ANEXOS

ANEXO I – CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL – FEAM

Tabela 0-1: Classificação da categoria de risco e dano potencial associado da Barragem Dique D-03

NOME DA BARRAGEM		Barragem de Contenção de Águas Pluviais Dique D-03
NOME DO EMPREENDEDOR		DVG Indústria de Concreto Celular LTDA
DATA		14/02/2023
I.1- CATEGORIA DE RISCO		
		Pontos
1	Características Técnicas (CT)	11
2	Estado de Conservação (EC)	2
3	Plano de Segurança de Barragens (PSB)	15
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT+EC+PSB		28
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI
	ALTO	> = 60 ou EC* = 8
	MÉDIO	35 a 60
	BAIXO	< = 35
(*) Pontuação (8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.		
I.2- POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL		
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL (PDA)	Pontos
		7
	POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL	PDA
	ALTO	> = 16
	MÉDIO	10 < DPA < 16
	BAIXO	< = 10

Tabela 0-2: Resultado da Avaliação

CATEGORIA DE RISCO	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Médio	<input checked="" type="checkbox"/> Baixo
POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Médio	<input checked="" type="checkbox"/> Baixo

Tabela 0-3: Classificação das Barragens de Água Associadas a Processos Industriais

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

QUADRO 1.1 – MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO A CATEGORIA DE RISCO - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT

Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da barragem (e)	Vazão de Projeto (f)
Altura ≤ 10m (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)
10m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Alvenaria de pedra / Concreto ciclópico / Concreto rolado – CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	Terra homogênea / Enrocamento / Terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / Rocha alterada fraturada com tratamento (3)	Entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (5)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)		Rocha alterada mole / Saprolito / Solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)
			Solo residual / aluvião (5)		
CT = ∑ (a até f) = 11					

QUADRO 1.2 – MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO A CATEGORIA DE RISCO - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (k)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente. (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)
Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento o da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)
EC = \sum (g até k) = 2				

QUADRO 1.3 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO A CATEGORIA DE RISCO - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PSB

Existência de documentação de projeto (l)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (m)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (n)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (o)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (p)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
Inexiste documentação de projeto (8)	-	-	-	-
PS = \sum (l até p) = 15				

QUADRO 4 - CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA (RESÍDUOS E REJEITOS)

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a Jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 1 milhão 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 - Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 1 milhão 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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica 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 - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	MÉDIO (existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica 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 socioeconômica 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 10.004 da ABNT) (10)	
DPA = ∑ (a até d) = 7			

ANEXO II – RELATÓRIO TÉCNICO FOTOGRÁFICO



Figura 0.1: Trilha de acesso a barragem com sistema de drenagem



Figura 0.2 Acesso a Barragem Dique D-03



Figura 0.3: Crista da Barragem Dique D-03



Figura 0.4: Drenagem superficial da crista obstruída



Figura 0.5: Escada de drenagem da ombreira direita



Figura 0.6: Talude de montante com régua linimétrica visto da ombreira direita



Figura 0.7: Talude de montante e reservatório vistos da ombreira esquerda



Figura 0.8: Reservatório e régua linimétrica vistos da crista da barragem



Figura 0.9: Talude de jusante com face irregular



Figura 0.10: Creca de arame no talude de jusante para conter blocos

ANEXO III – DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE DA BARRAGEM

DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE

Barragens destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos e resíduos Industriais ou de mineração e a barragens de água ou líquidos associados a processos industriais ou de mineração no Estado de Minas Gerais.

ANO BASE: 2023

Semestre: 1º (primeiro)

Empreendimento: DVG Indústria de Concreto Celular LTDA

CNPJ: 34.651.228/0001-63

Município: Belo Horizonte

Nome da barragem: Barragem de Contenção de Sedimentos e Águas Pluviais Dique D-03

Potencial de dano ambiental: 7

Declaro para fins de acompanhamento e comprovação junto a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, que realizei auditoria técnica de segurança na estrutura acima especificada, conforme Relatório Técnico de Auditoria de Segurança elaborado em janeiro de 2023.

Atesto a condição de estabilidade da barragem supracitada.

Para melhorar, manter (ou obter) as condições de segurança da barragem foram especificadas as seguintes recomendações que serão implementadas conforme cronograma a seguir:

Item	Recomendação	Classificação	Priorização	Prazo
1	Monitorar visualmente estado de conservação das canaletas de drenagem superficial da área da mina e mantê-las desobstruídas.	4	BAIXA	Rotina
2	Realizar o monitoramento visual do reservatório com frequência estabelecida no PSB da barragem, a fim de evitar que o nível de água atinja a altura máxima de 1,70 m da régua linimétrica, definida para manutenção da segurança da estrutura;	4	BAIXA	Rotina

Item	Recomendação	Classificação	Priorização	Prazo
3	Suprimir árvores de grande porte no encontro do talude de jusante com a ombreira direita;	4	BAIXA	Conforme calendário PRAD
4	Realizar desassoreamento do reservatório com frequência estabelecida no PSB da estrutura;	5	BAIXA	Rotina
5	Executar plano frequente de capina e combate à vegetação invasora nos taludes de jusante e de montante, na crista e nas ombreiras;	5	BAIXA	Rotina
6	Monitorar visualmente deslocamento pontual da rocha, principalmente na ombreira esquerda, próximo à crista, e, em caso de evolução, planejar ação corretiva;	5	BAIXA	Rotina

Anexo, cópia da anotação de Responsabilidade Técnica do Relatório de Auditoria de Segurança

Vitor Lages do Lages
Engenheiro Civil
CREA: 118264D

Éder Ferreira Campos Filho
Diretor
CPF: 349.378.546-15

ANEXO IV – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA