

Barragem Califórnia

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem



NG-131-RTSB-CA-RL-R0

Nacional de Grafite Ltda.

Salto da Divisa/MG

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Marta Sawaya

CREA-MG 77.973/D

27/08/2026

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. BASE LEGAL E NORMATIVA.....	1
2. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DOS RESPONSÁVEIS	2
3. EQUIPE TÉCNICA INTERNA DO EMPREENDIMENTO	5
3.1. PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO, MONITORAMENTO E GESTÃO DE DADOS	5
3.2. DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DE ANOMALIAS	7
3.3. AVALIAÇÃO	8
4. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA	9
4.1. LOCALIZAÇÃO	9
4.2. FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM.....	9
4.3. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM	11
5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS	19
5.1. HISTÓRICO	19
5.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	19
5.2.1. Resumo das Campanhas de Investigações	19
5.2.1.1. Campanha 1995.....	20
5.2.1.2. Campanha 1998.....	20
5.2.1.3. Campanha 2022.....	21
5.2.2. Ensaios <i>In Situ</i> e de Laboratório	21
5.2.3. Mapeamento de Detalhe	25
5.2.3.1. Unidades Geológicas	25
5.2.3.2. Geologia Estrutural.....	25
5.2.3.3. Fundação, Ombreiras e Entorno.....	26
5.2.4. Classificação e Caracterização Geotécnica dos Litotipos	27
5.2.4.1. Gnaiss	27
5.2.4.2. Solo Residual de Gnaiss	28
5.2.4.3. Colúvio	29
5.2.4.4. Maciço.....	30
5.2.4.5. Drenos Vertical e Horizontal.....	32
5.2.5. Seções Geológico-Geotécnicas.....	32
5.3. ESTUDOS SÍSMICOS.....	34

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

5.4.	ADERÊNCIA DO PROJETO <i>AS IS</i>	36
6.	SISTEMAS DE DRENAGEM	37
6.1.	SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA	37
6.2.	SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL.....	40
6.3.	SISTEMA EXTRAVASOR.....	41
7.	AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA	43
7.1.	AVALIAÇÃO DAS INSPEÇÕES DE ROTINA.....	43
7.2.	CONSIDERAÇÕES SOBRE A AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA	46
7.3.	RIS – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO SEMESTRAL	48
8.	INSPEÇÃO DE CAMPO	50
9.	RECOMENDAÇÕES DAS AUDITORIAS DE BARRAGENS	51
10.	AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA.....	52
10.1.	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	52
10.2.	TRÂNSITO DE CHEIAS E BORDA LIVRE	59
10.3.	VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA EXTRAVASOR.....	61
10.4.	VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL	67
10.4.1.	Canaletas.....	68
10.4.2.	Escadas Hidráulica.....	69
10.5.	CONCLUSÃO SOBRE A VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA	71
11.	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS RESÍDUOS/REJEITOS.....	72
11.1.	CLASSIFICAÇÃO DO REJEITO – NBR 10.004.....	72
11.2.	CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA	72
12.	MODOS DE FALHAS	76
13.	ANÁLISE DE ESTABILIDADE	78
13.1.	METODOLOGIA APLICADA.....	78
13.2.	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA ADOTADOS	78
13.3.	SEÇÕES REPRESENTATIVAS	79
13.4.	LINHA FREÁTICA	79
13.5.	CENÁRIOS E FATORES DE SEGURANÇA ADMISSÍVEIS	79
13.6.	RESULTADOS	80
13.7.	AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE ESTRUTURAL	87
14.	AUSCULTAÇÃO	88

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

14.1.	MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA (MNA)	90
14.2.	PIEZÔMETROS.....	90
14.3.	MARCOS SUPERFICIAIS.....	91
14.4.	MEDIDOR DE VAZÃO.....	91
15.	CARTA DE RISCO	96
16.	SEGURANÇA OPERACIONAL	100
17.	CONCLUSÃO	102
18.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
19.	LISTA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	104
20.	ANEXO I - DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE	106
21.	ANEXO II – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA – ART.....	107
22.	ANEXO III – RELATÓRIO TÉCNICO FOTOGRÁFICO	109
22.1.	CRISTA	109
22.2.	RESERVATÓRIO	109
22.3.	TALUDES.....	110
22.4.	EXTRAVASOR	111
22.5.	SAÍDA DO DRENO DE FUNDO.....	112
22.6.	SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL	113
22.7.	INSTRUMENTAÇÃO	114

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 4.1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM CALIFÓRNIA.....	9
FIGURA 5.1 – LIMPEZA NA FUNDAÇÃO E OMBREIRA DIREITA (1ª ETAPA)	27
FIGURA 5.2 – LIMPEZA NA FUNDAÇÃO E OMBREIRA ESQUERDA (2ª ETAPA)	27
FIGURA 5.3 – LIMPEZA DO TERRENO DE FUNDAÇÃO E NA VÁRZEA (1ª ETAPA).....	27
FIGURA 5.4 – LIMPEZA CONCLUÍDA E TAPETE DE AREIA SOBRE O TERRENO DA FUNDAÇÃO (1ª ETAPA)	27
FIGURA 5.5 – ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA DE TENSÕES TOTAIS – SOLO RESIDUAL	29
FIGURA 5.6 – ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA DE TENSÕES EFETIVAS – SOLO RESIDUAL.....	29
FIGURA 5.7 – ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA DE TENSÕES TOTAIS – COLÚVIO.....	30
FIGURA 5.8 – ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA DE TENSÕES EFETIVAS – COLÚVIO	30
FIGURA 5.9 – ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA EM TENSÕES TOTAIS	31
FIGURA 5.10 – ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA EM TENSÕES EFETIVAS	31
FIGURA 5.11 – LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES GERADAS PARA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	32
FIGURA 5.12 – SEÇÃO A-A' DA BARRAGEM CALIFÓRNIA REINTERPRETADA PELA 3EM	33
FIGURA 5.13 – SEÇÃO B-B' DA BARRAGEM CALIFÓRNIA REINTERPRETADA PELA 3EM	33

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

FIGURA 5.14 – SEÇÃO C-C’ DA BARRAGEM CALIFÓRNIA REINTERPRETADA PELA 3EM.....	33
FIGURA 5.15- SISMOS E GEOLOGIA EM MINAS GERAIS.....	35
FIGURA 5.16 - MAPAS DE AMEAÇA SÍSMICA (“SEISMIC HAZARD MAPS”) PARA ACELERAÇÃO DE PICO (PEAK GROUND ACCELERATION - PGA) EM ROCHA, PARA PROBABILIDADES DE 10% DE EXCEDÊNCIA EM 50 ANOS, CORRESPONDENDO A PERÍODO DE 475 ANOS.	36
FIGURA 6.1 – SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA DA BARRAGEM CALIFÓRNIA.....	37
FIGURA 6.2– TAPETE DE AREIA SOBRE A FUNDAÇÃO (1ª ETAPA).....	38
FIGURA 6.3– DRENOS-SANDUICHE SOBRE O TAPETE DE AREIA (1ª ETAPA)	38
FIGURA 6.4– DRENO DE BRITA SOB O FILTRO VERTICAL (1ª ETAPA)	38
FIGURA 6.5– FILTRO VERTICAL EM EXECUÇÃO (1ª ETAPA).....	39
FIGURA 6.6– TAPETE TIPO SANDUICHE – 2ª ETAPA.....	39
FIGURA 6.7– TRECHO JUSANTE 2ª ETAPA COBERTO COM AREIA (2ª ET.)	39
FIGURA 6.8 - SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	40
FIGURA 6.9 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO EXTRAVASOR.....	41
FIGURA 7.1 – MODELO DE FICHA DE INSPEÇÃO REGULAR (FIR).....	44
FIGURA 7.2 – MODELO DE FICHA DE INSPEÇÃO REGULAR (FIR).....	45
FIGURA 7.3 SURGÊNCIA DA OMBREIRA ESQUERDA NO EXTRAVASOR.....	47
FIGURA 7.4 GRÁFICO DE MONITORAMENTO DA VAZÃO DA SURGÊNCIA	48
FIGURA 10.1 – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NA REGIÃO DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	53
FIGURA 10.2 – BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	56
FIGURA 10.3 – HIDROGRAMA DE ENTRADA NO RESERVATÓRIO	59
FIGURA 10.4 – GRÁFICO DA VAZÃO DE ENTRADA E VAZÃO DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO EM RELAÇÃO AO TEMPO	60
FIGURA 10.5 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA LÂMINA DE ÁGUA NA SEÇÃO TRANSVERSAL DO CANAL DE APROXIMAÇÃO	62
FIGURA 10.6 – REGIME DE <i>SKIMMING FLOW</i> (Q=19,7 M³/S)	62
FIGURA 10.7 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA BACIA DE DISSIPAÇÃO	63
FIGURA 10.8 - VISTA DA CANALETA DE DRENAGEM.....	68
FIGURA 11.1 – INDICAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA – BARRAGEM CALIFÓRNIA.....	73
FIGURA 11.2– DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA 01	74
FIGURA 11.3 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA 02	74
FIGURA 13.1 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A’ EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR	81
FIGURA 13.2 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A’ EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	82
FIGURA 13.3 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A’ EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR.....	82
FIGURA 13.4 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A’ EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	82
FIGURA 13.5 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A’ SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, NA CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR	83
FIGURA 13.6 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A’ SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR.....	83
FIGURA 13.7 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B’ EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR	83

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

FIGURA 13.8 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	84
FIGURA 13.9 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR.....	84
FIGURA 13.10 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	84
FIGURA 13.11 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR.....	85
FIGURA 13.12 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	85
FIGURA 13.13 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO C-C' EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR	85
FIGURA 13.14 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO C-C' EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR.....	86
FIGURA 13.15 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO C-C' EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR.....	86
FIGURA 13.16 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO C-C' EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	86
FIGURA 13.17 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO C-C' SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR.....	87
FIGURA 13.18 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO C-C' SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	87
FIGURA 14.1 – PLANTA DE LOCAÇÃO DOS INSTRUMENTOS.....	89
FIGURA 14.2 - CABINE DE INSTRUMENTAÇÃO PARA LEITURA AUTOMATIZADA DOS MARCOS SUPERFICIAIS	91
FIGURA 14.3 – LEITURA DOS MNA'S.....	92
FIGURA 14.4 – MONITORAMENTO DOS PIEZÔMETROS	93
FIGURA 14.5 – DADOS DO MONITORAMENTO DOS MARCOS SUPERFICIAIS	94
FIGURA 14.6 – VAZÃO MEDIDA NAS CAIXAS COLETORAS	95
FIGURA 16.1 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DA PLANTA INDUSTRIAL	100
FIGURA 22.1 – CRISTA DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	109
FIGURA 22.2 – RESERVATÓRIO DA BARRAGEM CALIFÓRNIA.....	110
FIGURA 22.3 – TALUDE DE MONTANTE DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	110
FIGURA 22.4 – TALUDE DE JUSANTE DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	111
FIGURA 22.5 – SITUAÇÃO DO CANAL EXTRAVASOR DA BARRAGEM CALIFÓRNIA.....	112
FIGURA 22.6 – VISTA DA SAÍDA DO DRENO DE FUNDO DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	113
FIGURA 22.7 – SITUAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM SUPERFICIAL DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	114
FIGURA 22.8 – INSTRUMENTAÇÃO DA BARRAGEM CALIFÓRNIA REGISTRADA DURANTE VISITA TÉCNICA	114

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 - IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR.....	2
TABELA 2.2 - IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	2
TABELA 2.3 - DADOS PARA ENVIO DE CORRESPONDÊNCIA	3
TABELA 2.4 – DADOS DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDIMENTO	3

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

TABELA 2.5 – DADOS DO AUDITOR	3
TABELA 2.6 - DADOS DA EQUIPE DE AUDITORIA EXTERNA AO EMPREENDIMENTO	4
TABELA 2.7 – IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO PELA BARRAGEM CALIFÓRNIA	4
TABELA 4.1 - IDENTIFICAÇÃO E DADOS GERAIS DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	10
TABELA 4.2 - IDENTIFICAÇÃO DA BARRAGEM.....	11
TABELA 4.3 - CATEGORIA DE RISCO	11
TABELA 4.4 - POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL.....	11
TABELA 4.5 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO	12
TABELA 4.6 - MATRIZ 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE REJEITOS OU RESÍDUOS DA MINERAÇÃO.....	12
TABELA 4.7 – SÍNTESE DA CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM CALIFÓRNIA.....	12
TABELA 4.8 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS – CT ..	13
TABELA 4.9 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO - ESTADO DE CONSERVAÇÃO – EC	14
TABELA 4.10 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM – PSB	15
TABELA 4.11 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL – PDA	17
TABELA 5.1 - RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	23
TABELA 5.2 - RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS ESPECIAIS.	24
TABELA 5.3 - LITOLOGIAS IDENTIFICADAS NAS CAMPANHAS DE INVESTIGAÇÃO	25
TABELA 5.4 - COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE PARA A ROCHA GNÁISSICA.....	28
TABELA 7.1 – SÍNTESE DAS ANOMALIAS E OBSERVAÇÕES REGISTRADAS NAS INSPEÇÕES DE ROTINA	46
TABELA 9.1 – AVALIAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES DA ÚLTIMA AUDITORIA DE SEGURANÇA	51
TABELA 10.1 – DADOS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS PARA ESTUDO HIDROLÓGICO	54
TABELA 10.2 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	55
TABELA 10.3 – DESAGREGAÇÃO DA CHUVA	57
TABELA 10.4 – DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS (TR=10.000 ANOS E PMP).....	58
TABELA 10.5 – SIMULAÇÃO DA PMP DE 8H NO RESERVATÓRIO	60
TABELA 10.6 – CÁLCULO DE AMPLITUDE DA ONDA EÓLICA EXCEPCIONAL.....	61
TABELA 10.7 – CÁLCULO DE AMPLITUDE DA ONDA EÓLICA HABITUAL.....	61
TABELA 10.8 – TABELA COTA X DESCARGA (EL. 185,80 M).....	63
TABELA 10.9 – VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO CANAL INTERMEDIÁRIO.....	64
TABELA 10.10 – VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO CANAL RÁPIDO.....	65
TABELA 10.11 – DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DISSIPAÇÃO	66
TABELA 10.12 – DIMENSIONAMENTO DE CANALETAS	69
TABELA 10.13 – DIMENSIONAMENTO DA ESCADA DE DRENAGEM SUPERFICIAL	70
TABELA 11.1 – CARACTERÍSTICAS DOS REJEITOS	73
TABELA 11.2– DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS	74
TABELA 11.3 – RESULTADOS DE <i>UMIDADE IN SITU</i> E DENSIDADE E DOS SÓLIDOS	75
TABELA 12.1 – IDENTIFICAÇÃO DOS MODOS DE FALHA, COMPONENTES E CAUSAS.....	76
TABELA 13.1 – PARÂMETROS GEOTÉCNICOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE.....	78
TABELA 13.2 - CENÁRIOS E FATORES DE SEGURANÇA MÍNIMOS ADMISSÍVEIS	80
TABELA 13.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE	81
TABELA 15.1 - CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA (ADAPTADO DE GEOCONSULTORIA, 2026)	96
TABELA 15.2 - NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA O NÍVEL D'ÁGUA DO RESERVATÓRIO (ADAPTADO DE GEOCONSULTORIA, 2026)	97

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

TABELA 15.3 - NÍVEIS DE SEGURANÇA PARA O MODO DE RUPTURA POR EROSÃO INTERNA (ADAPTADO DE GEOCONSULTORIA, 2026)	97
TABELA 15.4 - NÍVEIS DE SEGURANÇA ASSOCIADOS AO CRITÉRIO DE DEFORMAÇÃO (ADAPTADO DE GEOCONSULTORIA, 2026)	98
TABELA 15.5 - FAIXA DE VALORES – MS’S (ADAPTADO DE GEOCONSULTORIA, 2026).....	99
TABELA 15.6 - NÍVEIS DE SEGURANÇA EM FUNÇÃO DOS FATORES DE SEGURANÇA (FS) PARA O CRITÉRIO DE CISALHAMENTO (ADAPTADO DE GEOCONSULTORIA, 2026)	99
TABELA 19.1 – DADOS FORNECIDOS PELA NGL PARA AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA	104

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

1. INTRODUÇÃO

O presente documento corresponde ao Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragem – RTSB da Barragem Califórnia, localizada no município de Salto da Divisa/MG e de propriedade da Nacional de Grafite Ltda.

O relatório tem por objetivo avaliar as condições atuais de segurança da estrutura, considerando os aspectos geotécnicos, hidrológicos, hidráulicos, operacionais e de monitoramento, bem como verificar a aderência aos critérios técnicos aplicáveis e às exigências estabelecidas no âmbito da Política Estadual de Segurança de Barragens, instituída pela Lei Estadual nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019.

Para subsidiar a auditoria, foram analisados os documentos, projetos, registros e demais informações técnicas disponibilizados pelo empreendedor, complementados por inspeção de campo e pela avaliação das condições físicas e operacionais da barragem e de seus sistemas associados. Os resultados dessas análises fundamentam as conclusões apresentadas neste RTSB, inclusive quanto à condição de estabilidade da estrutura, bem como as recomendações eventualmente necessárias à manutenção ou melhoria de sua segurança e à emissão da respectiva Declaração de Condição de Estabilidade – DCE.

1.1. BASE LEGAL E NORMATIVA

A elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragem – RTSB fundamenta-se nos instrumentos legais, regulamentares e técnicos aplicáveis à segurança de barragens no Estado de Minas Gerais, com destaque para:

- Lei Estadual nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragens – PESB;
- Decreto Estadual nº 48.140, de 25 de fevereiro de 2021, que regulamenta dispositivos da Lei Estadual nº 23.291/2019 e estabelece critérios relacionados à classificação e à gestão da segurança das barragens;
- Portaria FEAM nº 699, de 7 de junho de 2023, que formaliza os procedimentos do Programa de Gestão de Barragens da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM;
- Termo de Referência para Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – FEAM, Versão 02/2023, que estabelece o conteúdo mínimo e as diretrizes para elaboração do RTSB.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

2. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DOS RESPONSÁVEIS

Neste capítulo são apresentadas as informações de identificação dos agentes envolvidos no empreendimento e no processo de auditoria de segurança da Barragem Califórnia, contemplando o empreendedor, o empreendimento, seu representante legal, o auditor responsável, a equipe técnica externa responsável pela elaboração do RTSB e a equipe técnica interna responsável pela gestão e acompanhamento da segurança da estrutura.

As informações apresentadas a seguir foram organizadas de forma a atender aos requisitos de identificação estabelecidos no Termo de Referência para Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens da FEAM.

Os dados de identificação do empreendedor responsável pela Barragem Califórnia são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Identificação do empreendedor

Empreendedor									
Nome / Razão social:	Nacional de Grafite Ltda.								
Nome fantasia:	Nacional de Grafite								
CNPJ:	21.228.861/0001-00								
Endereço:	Rodovia MG 164	Nº/Km	Km 04						
Complemento:	Zona Rural								
Bairro/Localidade	Água Limpa								
Município/UF:	Itapeçerica - MG	UF	MG	CEP	35.550-000		Caixa Postal	12	
Telefone:	(37) 3341 8008	E-mail:	m.ambiente@grafite.com						

Os dados de identificação do empreendimento no qual está inserida a Barragem Califórnia são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Identificação do empreendimento

IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	
Nome / Razão social:	Nacional de Grafite Ltda.
Nome fantasia:	Nacional de Grafite
Processo administrativo COPAM n.º:	147/1994/022/2018
Endereço:	Estrada do Piabanha, S/Nº, KM 18, CEP: 39 925 000
Complemento:	Zona Rural
Município/UF:	Salto da Divisa - MG
Telefone:	(37) 3341 8008
E-mail:	m.ambiente@grafite.com

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

As informações referentes ao destinatário e ao endereço para envio de correspondências relacionadas ao empreendimento são apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Dados para envio de correspondência

ENDEREÇO PARA ENVIO DE CORRESPONDÊNCIA	
Destinatário:	Alexandre Alves da Silva - Coordenador Meio Ambiente
Endereço:	Rodovia MG164- KM 04, Zona Rural, CEP: 35 550 000
Bairro/localidade:	Água Limpa
Município/UF:	Itapeçerica - MG

As informações de identificação do representante legal do empreendimento são apresentadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Dados do representante legal do empreendimento

IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDIMENTO	
Nome:	Clovis Cordeiro Rudge Ramos
Função:	Diretor Presidente
CPF:	214.046.678-06
Telefone:	(37) 3341-8068
E-mail:	juridico@grafite.com

As informações de identificação do auditor responsável pela elaboração deste Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragem são apresentadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Dados do auditor

IDENTIFICAÇÃO DO AUDITOR	
Nome:	Marta Aparecida Sawaya Miranda
Formação:	Geóloga / Geotécnica / MSc. em Engenharia de Barragens
CPF:	309.092.106-59
CREA:	77.973/D
Telefone:	(31) 99997-2049
E-mail:	marta@3emmg.com.br

Os dados de identificação dos profissionais que compõem a equipe de auditoria externa responsável pela elaboração deste RTSB são apresentados na Tabela 2.6.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 2.6 - Dados da equipe de auditoria externa ao empreendimento

IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE DE AUDITORIA EXTERNA AO EMPREENDIMENTO			
Nome:	Formação:	CREA:	CPF:
Marta Aparecida Sawaya Miranda	Geóloga / Geotécnica / MSc. em Engenharia de Barragens	77.973/D	309.092.106-59
Nathan Marçal	Engenheiro Civil / Esp. em Engenharia Geotécnica	244.619/D	118.952.726-02
Luisa de Moura Leão	Engenheira Civil Geotécnica / DSc. em Geotecnia / MSc. em Geotecnia Ambiental / MBA em Gestão de Projetos / Esp. em Engenharia Geotécnica / Esp. em Engenharia de Barragens e Pilhas	251.323/D	114.408.456-38
Isabela Borges Jales	Geóloga / Esp. em Engenharia Geotécnica	197.638/D	074.244.546-17
Suelem	Estagiária	-	170.195.537-70
Ane Alice Dias Araújo	Estagiária	-	153.387.806-40

Tabela 2.7 – Identificação do responsável técnico pela Barragem Califórnia

Requerente	
Nome:	Maurício Couto das Neves Peixoto
Formação:	Engenheiro de Minas / Geotécnico
CPF:	076.985.246-71
CREA	MG 165.651/D
Função	Responsável Técnico
Telefone:	(37) 3341 8033
E-mail:	mauricio.peixoto@grafite.com

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

3. EQUIPE TÉCNICA INTERNA DO EMPREENDIMENTO

Em atendimento ao Termo de Referência para Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens da FEAM, este item contempla também a avaliação dos procedimentos, da estrutura e da organização adotados pelo empreendimento para a gestão da segurança da barragem, abrangendo o monitoramento, o diagnóstico e a interpretação de anomalias, o tratamento dos dados de auscultação e os procedimentos de registro e armazenamento das informações relacionadas à segurança da estrutura.

A identificação do Responsável Técnico pela segurança da Barragem Califórnia, integrante da equipe técnica interna do empreendimento, foi apresentada na Tabela 2.7.

Para fins de organização da avaliação, o item 3.1 apresenta as rotinas estabelecidas para inspeção e monitoramento da estrutura, incluindo a obtenção e o acompanhamento dos dados de auscultação, bem como os procedimentos associados ao registro e armazenamento das informações. Por sua vez, o item 3.2 aborda os procedimentos estabelecidos para análise das informações obtidas, identificação e diagnóstico de condições anômalas, interpretação do comportamento da estrutura e definição das ações de resposta aplicáveis.

A avaliação apresentada nos itens subsequentes foi realizada principalmente com base no Manual de Operações da Barragem Califórnia, Revisão 03, de fevereiro de 2020, documento que estabelece procedimentos relacionados à operação, instrumentação, monitoramento, inspeções e atuação diante de anormalidades que possam comprometer a integridade da estrutura. O mesmo manual, juntamente com o Programa de Gestão de Risco (PGRBM) e demais informações do empreendedor, subsidiaram a avaliação da estrutura e da organização da equipe.

3.1. PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO, MONITORAMENTO E GESTÃO DE DADOS

O Manual de Operações da Barragem Califórnia, Revisão 03, de fevereiro de 2020, estabelece procedimentos sistematizados para inspeção e monitoramento da estrutura, contemplando atividades de natureza visual e instrumental, com frequências distintas em função do parâmetro acompanhado. O sistema previsto compreende visitas quinzenais à barragem, acompanhamento dos índices pluviométricos, acompanhamento do nível do reservatório, medições quinzenais dos marcos superficiais e inspeções de campo e leituras da instrumentação com frequência mínima quinzenal.

As visitas quinzenais possuem caráter predominantemente visual e têm como objetivo permitir a identificação tempestiva de alterações nas condições da estrutura. Conforme estabelecido no Manual, durante essas atividades devem ser observadas, dentre outros aspectos, as condições do sistema extravasor, a eventual ocorrência de surgências, o nível do reservatório, a presença de rachaduras ou trincas e outras condições que possam representar alteração do

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

comportamento esperado da barragem. As ocorrências identificadas devem ser comunicadas ao Responsável Técnico pela barragem, sendo previsto o registro das visitas em planilha específica.

O acompanhamento das condições hidrológicas e operacionais é complementado pelo registro diário da pluviometria, realizado por meio de pluviômetro instalado próximo ao escritório administrativo, e pelo acompanhamento quinzenal do nível do reservatório. Para este último, o Manual estabelece que as melhores condições operacionais da barragem indicam que este nível deve ficar abaixo da El. 182,65 m. A cota da soleira do sistema extravasor é de 182,00 m, enquanto a crista da barragem está situada na El. 185,5 m, resultando em uma diferença altimétrica de 2,85 m entre o nível operacional de 182,65 m e a crista.

O monitoramento de possíveis deslocamentos do maciço é previsto por meio do acompanhamento dos marcos superficiais, cujas coordenadas são verificadas a cada 2 horas com o objetivo de identificar eventuais movimentações. Paralelamente, o Manual estabelece inspeções visuais de campo e monitoramento quantitativo com frequência mínima quinzenal, abrangendo a leitura de marcos superficiais, piezômetros, medidores de nível d'água e dispositivos destinados à medição das vazões dos sistemas de drenagem.

O sistema de auscultação descrito no Manual contempla instrumentos destinados ao acompanhamento das principais grandezas associadas ao comportamento da estrutura, incluindo piezômetros, indicadores de nível d'água, marcos superficiais, dispositivos para controle das vazões de drenagem, réguas para acompanhamento do nível do reservatório e pluviômetro. Para esses instrumentos são estabelecidos objetivos específicos de monitoramento, abrangendo deformações horizontais e verticais, pressões neutras, nível d'água, precipitação incidente na região da barragem, vazões dos drenos e do dreno de fundo.

Os resultados obtidos nas inspeções e no monitoramento são registrados por meio de formulários específicos. O Manual apresenta modelo de Ficha de Inspeção Regular – FIR, contemplando a verificação de aspectos relacionados à crista, taludes, drenagem superficial, extravasor, instrumentação, acessos e demais componentes da estrutura, além de ficha específica destinada ao registro das leituras dos instrumentos. O procedimento previsto estabelece ainda a utilização das informações obtidas nas inspeções para preenchimento dos registros de segurança e sua posterior avaliação técnica. Dessa forma, verifica-se que o Manual de Operações estabelece uma rotina formal de inspeção e monitoramento da Barragem Califórnia, integrando observações visuais, acompanhamento das condições hidrológicas e operacionais e monitoramento instrumental. A avaliação da efetiva execução dessas rotinas, bem como da consistência, periodicidade e rastreabilidade dos registros produzidos, é realizada no âmbito desta auditoria a partir da documentação disponibilizada pelo empreendedor.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

3.2. DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DE ANOMALIAS

O Manual de Operações da Barragem Califórnia estabelece procedimentos para identificação, comunicação, avaliação e tratamento de condições anômalas observadas durante as atividades de inspeção e monitoramento. O fluxo previsto considera que as anormalidades identificadas nas inspeções visuais, no acompanhamento do reservatório ou nas leituras da instrumentação sejam comunicadas ao Responsável Técnico pela segurança da barragem, permitindo a avaliação da ocorrência e a definição das medidas aplicáveis em função de sua natureza e gravidade.

O Manual determina que, quando identificada uma anomalia, sejam adotadas providências pelo responsável pela barragem, incluindo, conforme a gravidade da ocorrência, a comunicação ao projetista, ao representante legal e aos demais envolvidos no sistema de gestão da segurança. Dessa forma, o procedimento estabelece um fluxo de comunicação destinado a permitir que alterações relevantes no comportamento da estrutura sejam submetidas à avaliação técnica e encaminhadas aos níveis de responsabilidade compatíveis com a condição observada.

A interpretação dos dados de auscultação é prevista de forma complementar às inspeções de campo. Conforme o Manual, os resultados das leituras instrumentais e das fichas de inspeção devem ser encaminhados quinzenalmente ao projetista ou a prestador de serviço especializado para avaliação, constituindo subsídio para a elaboração de relatórios periódicos de segurança da estrutura. Dessa forma, o procedimento estabelecido não se limita à coleta de dados, contemplando também sua submissão à análise técnica especializada.

Como mecanismo de apoio ao diagnóstico do comportamento da barragem, o Manual estabelece níveis de segurança associados às condições observadas na estrutura e aos resultados da instrumentação, classificados como Normal, Atenção, Alerta e Emergência. Os critérios consideram, entre outros parâmetros, o nível d'água do reservatório, a manutenção da borda livre e as condições piezométricas associadas aos fatores de segurança considerados nas análises de estabilidade.

Para a instrumentação, são estabelecidos valores de referência associados às diferentes condições de segurança. Em situação considerada normal, os níveis registrados nos piezômetros e indicadores de nível d'água devem permanecer compatíveis com a condição correspondente a fator de segurança igual ou superior a 1,50. O Manual apresenta, para diferentes seções e instrumentos da barragem, limites correspondentes aos estados Normal, Atenção, Alerta e Emergência, permitindo que as leituras sejam confrontadas com critérios previamente definidos para avaliação do comportamento da estrutura.

A aderência prática a esses procedimentos e a adequação dos limites atualmente adotados para controle da instrumentação deverão ser avaliadas em conjunto com os registros de inspeção,

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

séries históricas de auscultação, análises de estabilidade e demais documentos disponibilizados no âmbito da presente auditoria.

A equipe técnica de segurança da barragem recebeu treinamento para realização de suas atividades, tanto de inspeção de campo, quanto para leitura dos instrumentos.

3.3. AVALIAÇÃO

Sob o ponto de vista documental, verifica-se que o Manual de Operações contempla procedimentos para identificação de anomalias, comunicação aos responsáveis, interpretação técnica dos dados de auscultação e adoção de ações proporcionais à condição de segurança identificada. Além disso, a barragem conta ainda com um Programa de Gestão de Risco (PGRBM) e uma estrutura organizacional compatíveis com os requisitos preconizados nas boas práticas, assim como profissionais de segurança com qualificação técnica.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

4. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

4.1. LOCALIZAÇÃO

A Barragem Califórnia, objeto de estudo deste relatório, está localizada na Unidade Industrial de Salto da Divisa da Nacional de Grafite Ltda. O empreendimento, por sua vez, está localizado dentro dos limites da Fazenda Califórnia, que está em sua maior parte localizada no município de Salto da Divisa/MG, mas possui também uma pequena porção da propriedade localizada no município de Itagimirim/BA, conforme pode ser visto na Figura 4.1.

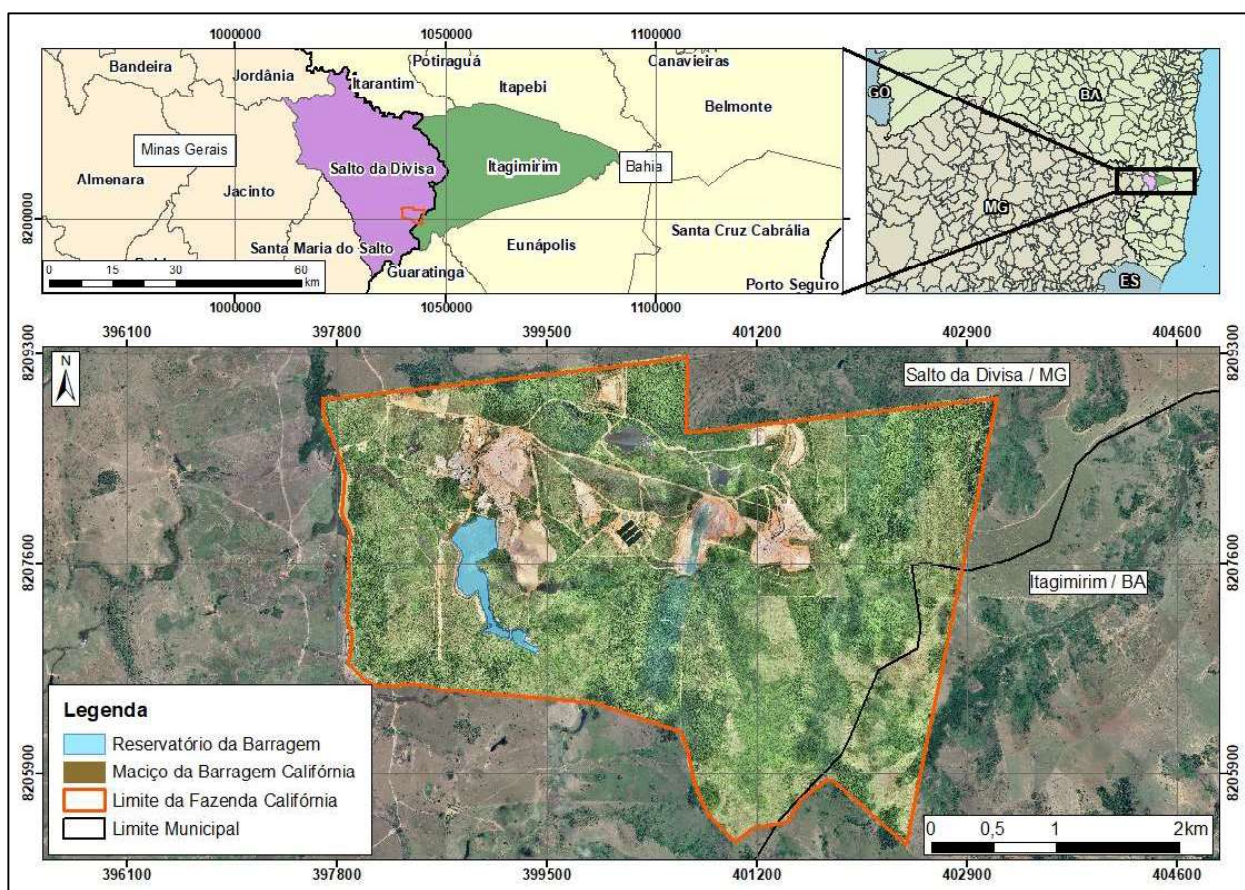


Figura 4.1 – Mapa de localização da Barragem Califórnia

4.2. FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM

A Tabela 4.1 apresenta as características técnicas gerais da Barragem Califórnia, refletindo sua condição atual.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 4.1 - Identificação e dados gerais da Barragem Califórnia

DADOS GERAIS DA BARRAGEM	
ID da barragem	SIGBAR/FEAM Nº 90
Nome da barragem	Barragem Califórnia
Nome da mina	Unidade Industrial de Salto da Divisa
Coordenada geográfica do ponto central da crista do barramento	Latitude: -16.207640° Longitude: -39.946947°
Finalidade do barramento	Contenção de água e rejeitos
Ano de início de implantação	15/09/1995
Ano de operação	30/07/1996
Ano de término da operação	-
Ano de descaracterização da barragem	-
Situação (status) de operação atual da barragem	Ativa
Volume atual do reservatório (m³)	1.615.800 (fonte: valor fornecido pela Nacional de Grafite)
Capacidade total do reservatório (m³)	1.739.200, até a cota 182 m, da soleira do extravasor (fonte: Estudo hidráulico- Hidrológico NG-04-EH-CA-RL-R0 Elaborado pela 3EM, 24/03/2023)
Área do reservatório (m²)	206.874, na crista (fonte: batimetria – 4350-X- MN-SD-24-007, ERG em 2024) 77.042,67, na cota da soleira do extravasor (fonte: SIGIBAR)
Elevação (m) do terreno natural no ponto baixo do barramento (m)	166,5
Altura atual da barragem (m)	19,3 (fonte: relatório Estudo hidráulico-Hidrológico NG-04-EH-CA-RL-R0)
Altura final prevista no projeto para a barragem (m)	19,3
Alteamentos realizados e seus respectivos métodos empregados	1 alteamento por jusante
Alteamentos previstos	nenhum
Curso d'água interceptado	não

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

4.3. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM

A classificação da Barragem Califórnia quanto à Categoria de Risco (CRI), ao Potencial de Dano Ambiental (PDA) e à sua classificação final foi realizada conforme os critérios estabelecidos nos Anexos II e IV do Decreto Estadual nº 48.140, de 25 de fevereiro de 2021.

A partir da aplicação dos critérios estabelecidos no referido Decreto, a Barragem Califórnia foi enquadrada na Categoria de Risco Baixo, com Potencial de Dano Ambiental Alto, resultando em sua classificação final como Classe B, conforme apresentado na Tabela 4.7. O detalhamento dos critérios, respectivas pontuações e resultados que fundamentam essa classificação é apresentado a seguir.

Tabela 4.2 - Identificação da Barragem

Nome da Barragem	Barragem Califórnia
Nome do Empreendedor	Nacional de Grafite Ltda.
Data	26/08/2026

Tabela 4.3 - Categoria de Risco

CATEGORIA DE RISCO		
Pontos		
1	Características Técnicas (CT)	4
2	Estado de Conservação (EC)	3
3	Plano de Segurança de Barragens (PSB)	2
Pontuação Total (CRI) = CT+EC+PSB		9
Faixas de Classificação	Categoria de Risco	CRI
	Alto	≥ 65 ou $EC^* \geq 10$
	Médio	$37 < CRI < 65$
	Baixo	≤ 37

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

Tabela 4.4 - Potencial de Dano Ambiental

POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL (PDA)		
Faixas de Classificação	Potencial de Dano Ambiental (PDA)	Pontos
		13
	Potencial de Dano Ambiental	PDA
	Alto	≥ 13
	Médio	$7 < DPA < 13$

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

	Baixo	< = 7
--	-------	-------

Tabela 4.5 – Resultado da classificação

RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO			
Categoria de Risco	() Alto	() Médio	(X) Baixo
Potencial de Dano Ambiental	(X) Alto	() Médio	() Baixo

Tabela 4.6 - Matriz 2 – Classificação das Barragens de Rejeitos ou Resíduos da Mineração

	Potencial de Dano Ambiental Barragens da Mineração		
Categoria de Risco	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	B	C	D
Baixo	B	C	E

Tabela 4.7 – Síntese da classificação da Barragem Califórnia

RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM CALIFÓRNIA	
Categoria de Risco	Baixo
Potencial de Dano Ambiental	Alto
Classificação da barragem	B

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 4.8 - Quadro de classificação quanto à categoria de risco - Características Técnicas – CT

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

(CT = $\sum$ (a até e))

Pontuação atribuída à Barragem Califórnia:

1	1	0	2	0
---	---	---	---	---

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 4.9 - Quadro de classificação quanto à categoria de risco - Estado de Conservação – EC

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

(EC = $\sum$ (f até i))

Pontuação atribuída à Barragem Califórnia:

0	3	0	0
---	---	---	---

NG-131-RTSB-CA-RL-R0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 4.10 - Quadro de classificação quanto à categoria de risco - Plano de Segurança da Barragem – PSB

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

NG-131-RTSB-CA-RL-RO

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Documentação de Projeto (j)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (k)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (l)	"Plano de Ação Emergencial – PAE (Quando exigido pelo órgão fiscalizador) (m)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (n)
Não há documentação de projeto (10)				

(PSB = $\sum$ (j até n))

Pontuação atribuída à Barragem Califórnia:

2	0	0	0	0
---	---	---	---	---

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 4.11 - Quadro de classificação quanto ao potencial de dano ambiental – pda

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 B – Inertes, segundo a NBR 10.004 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 10.004 da ABNT) (2)	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico- cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	MÉDIO (Existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico- cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
GRANDE 25 milhões a 50 milhões m ³ (4)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A – Não Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (Existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
MUITO GRANDE > = 50 milhões m ³ (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	-

(PDA= Σ (a até d))

Pontuação atribuída à Barragem Califórnia:

2	3	8	0
---	---	---	---

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS

5.1. HISTÓRICO

A Barragem Califórnia tem como finalidade receber os rejeitos oriundos do beneficiamento de minério de grafita e ao armazenamento de água de retorno do processo. Atualmente, o empreendimento possui outorga para captação de água no rio Jequitinhonha, que constitui uma fonte de abastecimento. A recirculação da água de retorno ocorre sob demanda, sendo utilizada apenas quando necessário, em função da salinidade da água.

A estrutura foi projetada em 1995 pela empresa GEOCONSULTORIA S/C LTDA, com a concepção original de barragem construída em duas etapas com solo compactado. Atualmente grande parte do rejeito da unidade é processado a seco e empilhado, sendo que a barragem recebe uma pequena fração de lama.

Segundo o Relatório de Inspeção de Segurança Regular (RISR) – ANM 1º Semestre de 2026 (GF35RT32-R0 - Califórnia - ANM 2026-1), emitido pela Geoconsultoria Ltda., a crista da primeira etapa estaria originalmente projetada na cota 175,00 m. Entretanto, foi observada uma diferença de cotas de cerca de 5,00 m, reposicionando a crista na cota 180,00 m após a execução. Para a segunda etapa, houve uma alteração no projeto inicial, desse modo a cota final chegou a 185,80 m. A construção da primeira etapa foi iniciada em 15/09/95 e concluída em 30/07/96. Já a segunda etapa foi iniciada em 2009 e concluída em 2010, sendo utilizado o método de alteamento por jusante.

5.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Este item tem como objetivo descrever e avaliar as características geológico-geotécnicas da fundação, ombreira, maciço e entorno da barragem, a sismicidade regional e local, assim como os aspectos hidrogeológicos.

5.2.1. Resumo das Campanhas de Investigações

Foram realizadas três campanhas de investigações de campo e de laboratório na área de interesse deste estudo. A primeira, em 1995, para as duas etapas de construção da barragem. A segunda, em 1998, para a instalação de instrumentação na barragem e a última, em 2022, para a complementação das informações geológico-geotécnicas atuais da barragem.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

5.2.1.1. Campanha 1995

Foi executada pela empresa EGF – Engenharia, Geotecnia e Fundações Ltda., compreendendo a execução de:

- 12 sondagens a percussão (SP-101 a 112)
- 04 sondagens rotativas (SR-101 a 104)
- 04 ensaios de perda d'água nas sondagens rotativas
- 10 ensaios de infiltração nos furos das sondagens a percussão
- 12 sondagens a trado, nas áreas de empréstimo

A locação destas sondagens e as seções geotécnicas com interpretação dos perfis do terreno de fundação foram apresentadas no desenho de projeto DE-01/120-01, de 30/11/95, elaborado pela Geoconsultoria.

Nos locais indicados, foram coletadas amostras deformadas dos solos descritos como residual e coluvionar e submetidas a ensaios de caracterização e resistência triaxial. Estes ensaios foram executados pelo laboratório CEG-Centro de Estudos Geotécnicos de São Paulo, e os resultados apresentados no relatório Nº. CEG 382/95, compreendendo:

- granulometria completa (peneiramento e sedimentação)
- densidade dos sólidos
- limites de consistência (LL e LP)
- compactação Proctor normal
- triaxial adensado rápido, saturado, com medida de pressão neutra.

As amostras deformadas do colúvio e do solo residual, coletadas nas sondagens a trado ST-132 e 137 (solo residual) e ST-133, 136 e 137 (colúvio) foram ensaiadas, para determinação das suas características geotécnicas.

5.2.1.2. Campanha 1998

Compreendeu a instalação de 2 indicadores de nível d'água (MNA-1 e MNA-2) e 5 piezômetros tipo Casagrande. Os esquemas de instalação foram preparados pelo técnico de campo da Geoconsultoria e apresentados no documento ES- 01/120-01, como anexos 1 e 2. Os boletins registraram os dados da instalação dos instrumentos e também os testes de funcionalidade, executados para verificação da operação dos mesmos.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

5.2.1.3. Campanha 2022

Foi realizada pela empresa Geomaster, descrita no relatório N° 1373/22, de 10/10/2022, incluindo: 2 (duas) sondagens mistas; 9 (nove) sondagens a percussão; 7 (sete) sondagens rotativas; e 1 (um) poço de inspeção

Nos locais foram coletadas amostras indeformadas tipo Denison, para ensaios de laboratório, e para instalação de indicadores de nível de água e piezômetros tipo Casagrande. Os ensaios de laboratório foram executados pela empresa LOCTEST, de Belo Horizonte. Além das amostras tipo Denison, foram coletados blocos indeformados, porém, restaram incertezas quanto aos locais de coleta, tendo sido recomendada uma nova amostragem

Além dos serviços descritos, foi realizado um levantamento geofísico, com caminhamento elétrico e potencial espontâneo, pela empresa GeoWay Engenharia, cujo resultado está apresentado no relatório intitulado *INVESTIGAÇÃO GEOELÉTRICA PARA CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM CALIFÓRNIA*, de agosto de 2022.

5.2.2. Ensaios *In Situ* e de Laboratório

De acordo com o *As Is* (GF38-RT-01, Rev. 3, 2023) da Barragem Califórnia, na fase de projeto foram realizados ensaios em amostras deformadas de solo residual e colúvio, coletadas nas sondagens a trado. Os ensaios tiveram como objetivo a determinação das características geotécnicas dos materiais e compreenderam ensaios de caracterização, compactação e resistência. Os resultados dos ensaios de caracterização realizados na campanha de projeto são apresentados na Tabela 5.1, juntamente com os resultados obtidos na campanha complementar de 2022.

Os resultados da campanha de projeto indicaram, para as amostras ensaiadas, parâmetros de granulometria, limites de Atterberg, densidade dos sólidos, compactação Proctor e resistência ao cisalhamento obtida em ensaios triaxiais.

Na campanha complementar, realizada em 2022, foram ensaiadas amostras do tipo Denison provenientes do aterro, colúvio e solo residual. Os resultados dos ensaios de caracterização estão consolidados na Tabela 5.1. Para o aterro, os resultados indicaram material predominantemente argiloso, com limites de plasticidade entre 22% e 31% e coeficientes de permeabilidade entre $2,9 \times 10^{-7}$ e $5,4 \times 10^{-6}$ cm/s. Para o solo residual, os resultados indicaram materiais com frações arenosas, argilosas e siltosas, apresentando coeficientes de permeabilidade entre $2,1 \times 10^{-6}$ e $4,4 \times 10^{-6}$ cm/s. Para o colúvio, os resultados apresentaram frações argilosas e siltosas, com coeficientes de permeabilidade entre $2,2 \times 10^{-7}$ e $9,7 \times 10^{-7}$ cm/s.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

No que se refere aos ensaios especiais, foram realizados ensaios de adensamento e ensaios triaxiais nas investigações, cujos resultados estão consolidados na Tabela 5.2. Na campanha de projeto, foram realizados ensaios triaxiais em amostras de solo residual e colúvio, com determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento em termos de coesão e ângulo de atrito para tensões totais e efetivas.

Na campanha complementar realizada em 2022, foram realizados ensaios de adensamento em amostras provenientes do aterro, colúvio e solo residual, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.2.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 5.1 - Resumo dos resultados dos ensaios de caracterização

Sondagem	Ano	Material	Amostra	Prof. (m)	Proc. Normal		Atterberg			Granulometria (%)						Dens. Grãos γ_s (g/cm³)	Perm. (cm/s)	Umid. Nat. ω (%)
					$\gamma_{s,max}$	hót (%)	LL	LP	IP		Areia							
										Arg.	Silte	Fina	Méd.	Gross.	Pedr.			
ST-132	1995	Solo residual	1687	0,9-1,9	1,72	15,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Solo residual	1688	1,9-3,0	1,805	15,3	48	33	15	14	12	74			–	2,65	–	–
ST-133		Colúvio	1689	0,3-2,0	1,815	15,4	41	16	25	27	9	64			–	2,66	–	–
ST-136		Colúvio	1696	0,3-1,5	1,81	15,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ST-136		Colúvio	1697	1,5-2,2	1,83	15,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ST-137		Solo residual	1700	1,6-3,0	1,975	10,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ST-138		Colúvio	1701	0,3-1,7	1,895	12,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
SR-PZ-11	2022	Aterro	9857A	3,25-4,5	–	–	39	26	13	28	20	17	17	13	5	2,641	2,50E-07	18,86
		Aterro	9857B	3,25-4,5	–	–	38	24	14	30	17	10	23	18	2	2,68	–	16,61
SR-PZ-12		Aterro	9858A	6,4-7,7	–	–	44	31	13	30	19	16	19	10	6	2,708	5,40E-06	17,38
		Aterro	9858B	6,4-7,7	–	–	40	27	13	31	19	18	20	10	2	2,624	–	15,65
SR-PZ-13		Aterro	9859	6,0-7,65	–	–	37	23	14	36	15	17	22	9	1	2,733	–	23,1
SR-PZ-17		Aterro	9862	4,35-5,9	–	–	38	25	13	26	22	16	17	14	5	2,709	1,30E-06	26,55
SR-PZ-19		Aterro	9863	3,65-4,6	–	–	35	22	13	36	12	16	24	11	1	2,733	2,90E-07	15,98
SR-PZ-19A		Colúvio	9864A	5,4-7,05	–	–	37	24	–	38	17	15	18	10	2	2,682	9,70E-07	20,3
		Colúvio	9864B	4,85-5,4	–	–	33	20	–	31	15	17	23	13	1	2,668	2,20E-07	11,88
SR-PZ-15		Solo residual	9860	5,58-6,38	–	–	28	19	–	13	10	19	29	17	12	2,683	2,30E-06	12,23
SR-PZ-15A		Solo residual	9861A	6,47-8,21	–	–	27	19	–	9	21	25	33	11	1	2,773	2,10E-06	13,86

NG-131-RTSB-CA-RL-R0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Sondagem	Ano	Material	Amostra	Prof. (m)	Proc. Normal		Atterberg			Granulometria (%)						Dens. Grãos γ_s (g/cm³)	Perm. (cm/s)	Umid. Nat. ω (%)
					$\Upsilon_{s,max}$	hót (%)	LL	LP	IP	Areia								
										Arg.	Silte	Fina	Méd.	Gross.	Pedr.			
SR-PZ-15A	2022	Solo residual	9861B	6,47-8,21	—	—	28	20	—	8	20	26	37	9	0	2,763	4,40E-06	13

γ_s - densidade dos sólidos; c - coesão; ϕ - ângulo de atrito.

Tabela 5.2 - Resumo dos resultados dos ensaios especiais.

Sondagem	Ano	Material	Amostra	Prof. (m)	Adensamento		Ensaio Triaxiais R sat			
					Cc	σ'_p (kgf/cm ²)	c (tf/m ²)	Φ (°)	c' (tf/m ²)	Φ' (°)
ST-132	1995	Solo residual	1688	1,9-3,0	–	–	4	21	4	22
ST-133		Colúvio	1689	0,3-2,0	–	–	3,5	16	0	31
SR-PZ-11	2022	Aterro	9857A	3,25-4,5	0,25	114	32	10	12	27
SR-PZ-12		Aterro	9858A	6,4-7,7	0,14	201				
SR-PZ-13		Aterro	9859	6,0-7,65	0,17	60				
SR-PZ-17		Aterro	9862	4,35-5,9	0,19	277				
SR-PZ-19A		Colúvio	9864A	5,4-7,05	0,17	53	15	15	6	30
SR-PZ-15		Solo residual	9860	5,58-6,38	0,14	80	37	19	29	24
SR-PZ-15A		Solo residual	9861A	6,47-8,21	0,18	257	–	–	–	–

NG-131-RTSB-CA-RL-R0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

5.2.3. Mapeamento de Detalhe

Segundo o Relatório Técnico “As Is” (GF38-RT-01, Revisão 3) elaborado pela empresa GEOCONSULTORIA S/C LTDA em março de 2023, as sondagens realizadas na área da barragem permitiram a reinterpretação das seções geológico-geotécnicas.

5.2.3.1. Unidades Geológicas

Os litotipos identificados na área de interesse estão resumidos na Tabela 5.3, enquanto a descrição detalhada das características geológico-geotécnicas se encontra no item 5.2.4.

Tabela 5.3 - Litologias identificadas nas campanhas de Investigação

Litologias identificadas		Descrição
RESERVATÓRIO	Rejeito	Granulometria muito fina, siltosa, de coloração cinza amarelada
MACIÇO	Solo Compacto Aterro	Silte-argiloso ou argila-siltosa, com areia fina, rosa escuro, rijo
	Drenagem Interna	Materiais granulares, do filtro e dos drenos
FUNDAÇÃO	Colúvio Permeável	Argila muito arenosa e areia argilosa, pontuada por pedregulhos, com uma coloração marrom no topo (0,2 m) e tonalidades avermelhadas e amareladas na base
	Solo Residual	Silte-arenoso no topo e areia-siltosa na base, quase sempre com muita mica, cores predominantes cinza e amarela e subordinadamente vermelha e esbranquiçada
	Rocha	Gnaiss migmatizado, apresentando diferentes graus de alteração ao longo do perfil

5.2.3.2. Geologia Estrutural

Não foram identificadas falhas, fraturas e dobras relevantes no local estudado, apenas as feições em escala regional, com exceção do gnaiss migmatizado, que se apresenta no trecho superior medianamente a muito fraturado, enquanto o trecho pouco alterado apresenta pouco fraturamento. A foliação gnáissica apresenta atitude média N10°E/85°SE, medida nos afloramentos existentes no reservatório, enquanto as famílias de fraturas secundárias se distribuíam predominantemente nas direções N65°W/80°SW e N75°E/90°. Todas as fraturas medidas eram subverticais (com inclinação superior a 80°), o que possivelmente explicava o fraturamento limitado observado nos testemunhos das sondagens verticais. Não foram observadas brechas ou fraturas com material de preenchimento.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

5.2.3.3. Fundação, Ombreiras e Entorno

Na região das ombreiras, ocorre solo coluvionar, abaixo do qual se encontra o horizonte de solo residual de gnaiss, seguido pelo horizonte rochoso, de pouco alterado a sã. Na região da várzea, o solo transportado originalmente presente foi totalmente removido.

Segundo o Relatório Técnico “As Is” (GF38-RT-01) elaborado pela empresa GEOCONSULTORIA S/C LTDA em março de 2023, durante a construção da barragem, o preparo do terreno de fundação foi conduzido com base em especificações detalhadas e observações visuais.

Inicialmente, nas áreas das ombreiras direita e esquerda, foi realizada a remoção da camada de solo vegetal conforme indicado na Especificação Construtiva, que previa uma espessura de 30cm. No entanto, tudo indica que a escavação foi maior e o solo transportado na região da várzea foi totalmente removido, restando apenas o horizonte coluvionar nas ombreiras. Em geral, foram removidos os solos com um índice de resistência à penetração (SPT) inferior a 10 em pontos localizados. No entanto, a critério do profissional responsável, solos com um índice SPT superior a 5 poderiam ser permitidos, dependendo das condições específicas do local. Assim, considera-se a fundação da barragem constituída de: colúvio, solo residual e rocha.

A limpeza do terreno de fundação, na ombreira direita, na ombreira esquerda e na várzea, além da adequação do terço de fundação com areia estão presentes nas Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3 e Figura 5.4.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia



Figura 5.1 – Limpeza na fundação e ombreira direita (1ª etapa)



Figura 5.2 – Limpeza na fundação e ombreira esquerda (2ª etapa)



Figura 5.3 – Limpeza do terreno de fundação e na várzea (1ª etapa)



Figura 5.4 – Limpeza concluída e tapete de areia sobre o terreno da fundação (1ª etapa)

5.2.4. Classificação e Caracterização Geotécnica dos Litotipos

5.2.4.1. Gnaisse

Ainda segundo o Relatório Técnico “As Is” (GF38-RT-01) sob o horizonte de solo, foi identificado um gnaiss migmatizado, apresentando diferentes graus de alteração ao longo do perfil. No topo, aproximadamente nos primeiros metros, o gnaiss exibia uma coloração amarelada, indicando uma alteração mediana, enquanto mais abaixo sua cor tornava-se cinza, sugerindo uma menor alteração. A rocha demonstrava uma variabilidade na intensidade de fraturamento: no trecho superior, era classificada como medianamente a muito fraturada, enquanto no trecho menos alterado apresentava poucas fraturas.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Considerando que o eixo da barragem tinha direção N30°E, observou-se uma proximidade na orientação da gnaissificação, com um mergulho quase vertical para montante. Isso indicava que, se houvesse alguma anisotropia na resistência ao cisalhamento devido à orientação da gnaissificação, as superfícies de ruptura teriam que atravessar essa feição. No entanto, as direções das fraturas mapeadas eram pouco inclinadas em relação ao eixo da barragem, sugerindo que não representavam planos de fraqueza que poderiam afetar a estabilidade. Com base nas direções das fraturas, poderia ocorrer fluxo ao longo delas.

Para avaliar as características hidrogeológicas do trecho de rocha, foram realizados quatro ensaios de perda d'água sob pressão e um ensaio de infiltração a nível constante, sendo três ensaios nas ombreiras e dois na várzea. Na Tabela 5.4 são encontrados os valores de coeficiente de permeabilidade para a rocha gnáissica.

Tabela 5.4 - Coeficientes de permeabilidade para a rocha gnáissica

Sondagem	Local	Profundidade (m)	Coeficientes de Permeabilidade
SR-101	Ombreira	8,1 a 10,0	$K = 1,13 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
SR-101	Ombreira	10,0 a 12,8	$K = 1,13 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
SR-102	Várzea	5,2 a 8,2	Impermeável
SR-103	Ombreira	11,2 a 14,35	$K = 1,45 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
SR-104	Várzea	8,0 a 10,7	Impermeável

Não foram executados ensaios de resistência para a rocha gnáissica, devido pouca influência que ela exerce nas superfícies de ruptura da estrutura, tendo em vista o caráter "*infinity strenght*".

5.2.4.2. Solo Residual de Gnaisse

Sotoposto ao solo coluvionar, na região das ombreiras, ocorre a camada de solo residual, produto de alteração de gnaisses. A composição é silto-arenosa no topo e areno-siltosa na base, quase sempre com muita mica, cores predominantes cinza e amarela e subordinadamente vermelha e esbranquiçada. A camada é compacta a muito compacta, com passagens medianamente compactas, e a espessura média é de 4,0 m nas ombreiras e 1,0m na região da várzea.

Os resultados dos ensaios para caracterização geotécnica, além dos especiais, relativos ao solo residual estão apresentados na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2.

Nas investigações para o projeto foram realizados 4 ensaios de infiltração nesta camada, sendo dois nas ombreiras e dois na região da várzea.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Foram realizados ensaios triaxial adensado rápido, com saturação do corpo de prova, por percolação e contrapressão (parâmetro $B \geq 0,95$), com medida de pressão neutra, com tensões confinantes de 100, 200, 400 e 800 kPa. Os resultados estão apresentados na Figura 5.5 e na Figura 5.6.

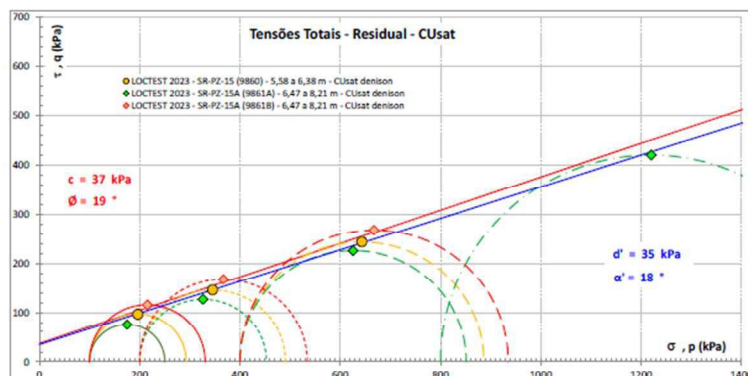


Figura 5.5 – Envoltória de resistência de tensões totais – Solo Residual

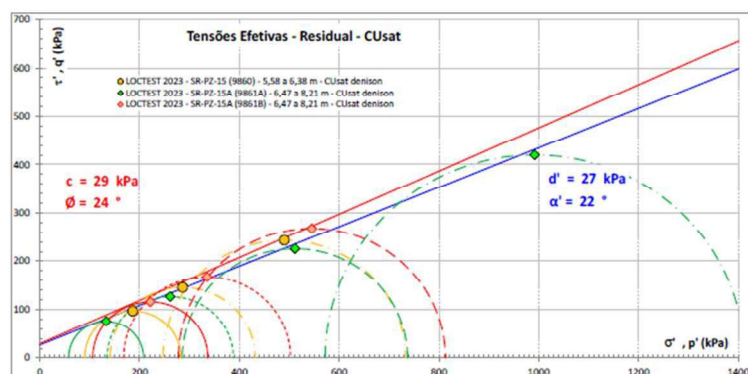


Figura 5.6 – Envoltória de resistência de tensões efetivas – Solo Residual

5.2.4.3. Colúvio

No relatório GF38-RT-01 é destacado que o solo de origem coluvionar se estende completamente sobre as ombreiras, apresentando uma espessura que varia de 0,99 m (no ponto SP-109) a 3,0 m (no ponto SP-PZ-23), com uma média de 1,5 m. Sua composição inclui argila muito arenosa e areia argilosa, pontuada por pedregulhos, com uma coloração marrom no topo (0,2 m) e tonalidades avermelhadas e amareladas na base. A consistência desse solo é caracterizada como rija a dura, atribuída tanto à presença dos pedregulhos finos quanto ao imbricamento dos grãos e à baixa umidade. Os valores de NSPT foram de 5 golpes/30 cm.

Os resultados dos ensaios para caracterização geotécnica, além dos especiais, relativos ao colúvio estão apresentados na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Durante a execução dos furos de sondagem, realizou-se dois ensaios de infiltração, a fim de determinar o coeficiente de permeabilidade (k).

Foram realizados ensaios triaxial adensado rápido, com saturação do corpo de prova, por percolação e contrapressão (parâmetro $B \geq 0,95$), com medida de pressão neutra, com tensões confinantes de 100, 200, 400 e 800 kPa.

Os resultados estão apresentados na Figura 5.7 e na Figura 5.8.

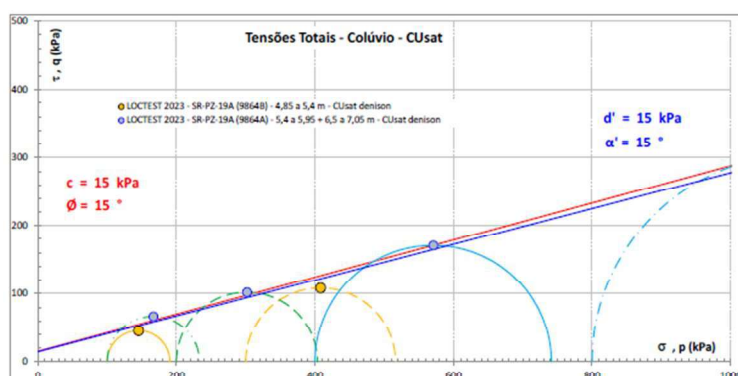


Figura 5.7 – Envoltória de resistência de tensões totais – Colúvio

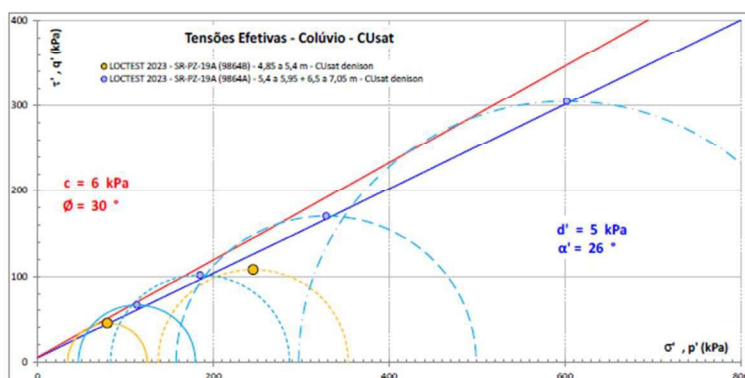


Figura 5.8 – Envoltória de resistência de tensões efetivas – Colúvio

5.2.4.4. Maciço

De acordo com os dados consolidados no *As Is*, o aterro que compõe o maciço da Barragem Califórnia é composto por solo argilo-siltoso com presença de areia e pedregulho, de coloração amarela e rosa, com consistência média a muito rija, com valores de NSPT entre 6 e 42 golpes/30 cm. O solo foi devidamente compactado, com controle de grau de compactação e desvio de umidade em relação à ótima.

Na Tabela 5.1 estão apresentados os valores dos ensaios de caracterização, enquanto na Tabela 5.2 se encontram os resultados de adensamento e triaxial.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

O ensaio triaxial foi do tipo adensado rápido, com saturação do corpo de prova, por percolação e contrapressão (parâmetro $B \geq 0,95$), com medida de poropressão. A Figura 5.9 apresenta a envoltória de resistência em tensões totais, enquanto a Figura 5.10 apresenta a envoltória de resistência em tensões efetivas.

Cabe ressaltar que os valores dos parâmetros não estão coerentes com o comportamento esperado para aterros de terra compactada, especialmente o ângulo de atrito interno. Tendo em vista esta análise, optou-se por, também, obter tais parâmetros a a partir de correlações com o N_{SPT} das sondagens realizadas. Definiu-se assim, o valor Φ , como a média dos valores encontrados pelos dois modos.

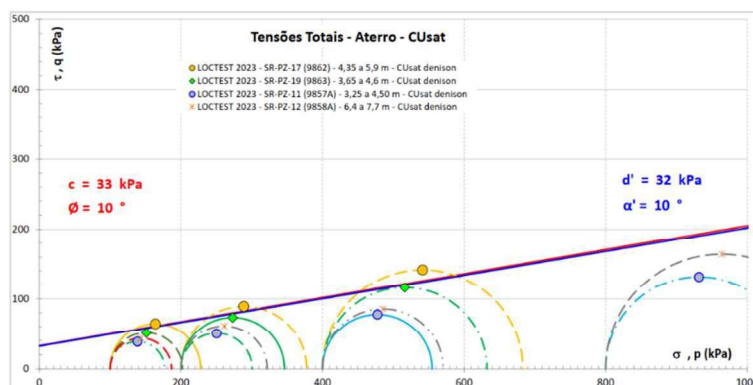


Figura 5.9 – Envoltória de resistência em tensões totais

Fonte: As Is Barragem Califórnia – Relatório técnico Ver. 03, 2023

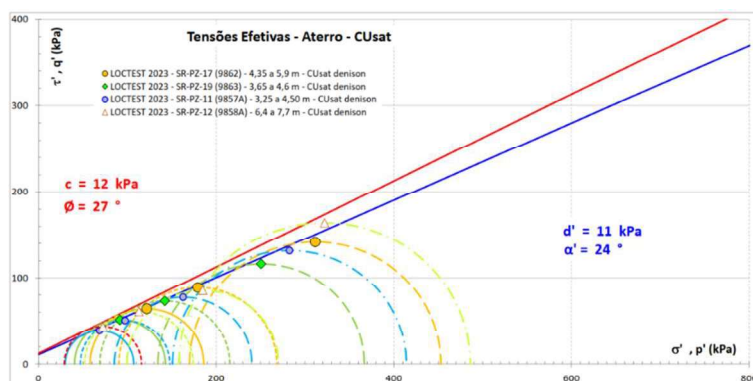


Figura 5.10 – Envoltória de resistência em tensões efetivas

Fonte: As Is Barragem Califórnia – Relatório técnico Ver. 03, 2023

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

5.2.4.5. Drenos Vertical e Horizontal

Não foram executados ensaios de resistência para os materiais que constituem o sistema de drenagem interna da barragem, devido pouca influência que esses materiais exercem nas superfícies de ruptura da estrutura. Os parâmetros adotados foram definidos com base em referências bibliográficas.

5.2.5. Seções Geológico-Geotécnicas

A equipe da 3EM - Mineração e Geologia reinterpreto as seções da Barragem Califórnia, cujas localizações estão representadas na Figura 5.11 . Na sequência da Figura 5.12 a Figura 5.14, encontram-se representadas os perfis geológicos que foram analisados, eles foram reinterpretados a partir dos resultados dos estudos desta RPSB.

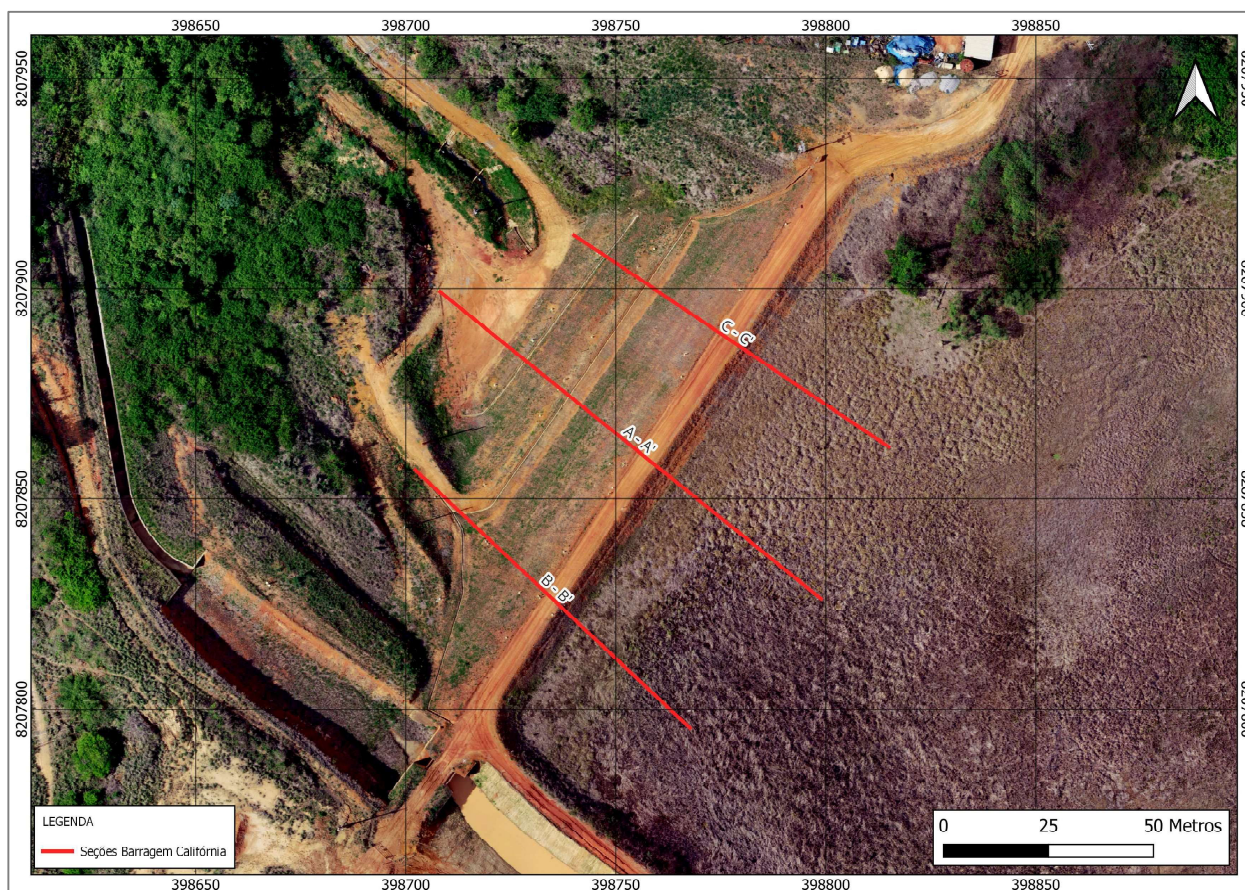


Figura 5.11 – Localização das seções geradas para análise de estabilidade da Barragem Califórnia

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

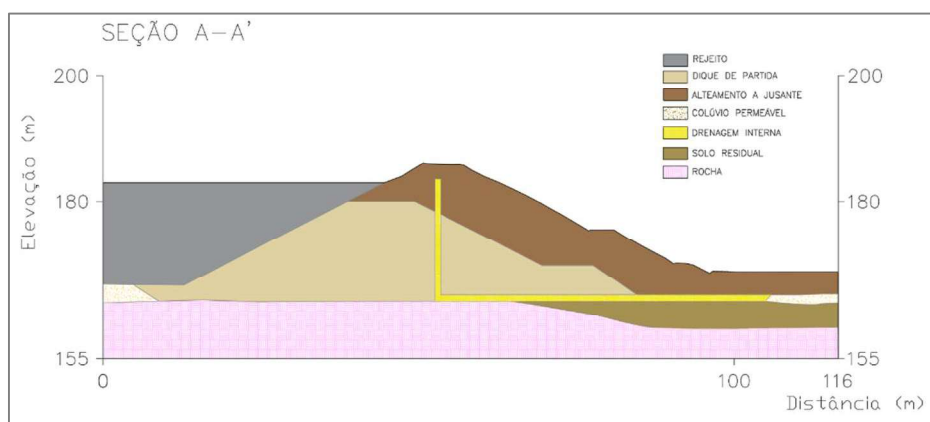


Figura 5.12 – Seção A-A' da Barragem Califórnia reinterpretada pela 3EM

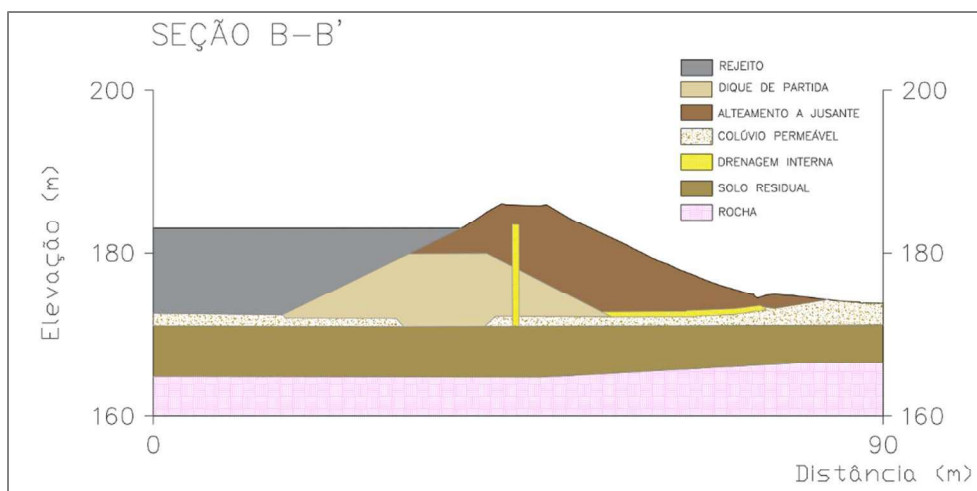


Figura 5.13 – Seção B-B' da Barragem Califórnia reinterpretada pela 3EM

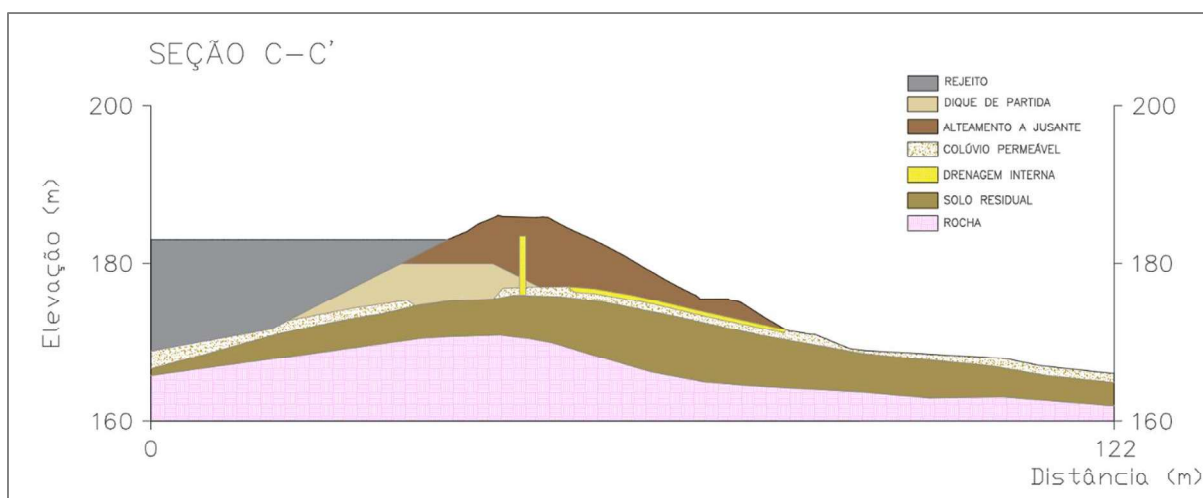


Figura 5.14 – Seção C-C' da Barragem Califórnia reinterpretada pela 3EM

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

5.3. ESTUDOS SÍSMICOS

De acordo com o Centro de Sismologia da USP¹, pequenos tremores em Minas Gerais são mais frequentes do que a média brasileira. No passado, já ocorreram tremores de magnitude até 4,9 em Minas Gerais, principalmente na parte Norte do estado: São Francisco 1931 (m=4.9), Itacarambi 2007 (m=4.9), Montes Claros 2012 (m=4.0).

Em Minas Gerais o melhor exemplo de surtos de sismicidade ocorreu na cidade de Bom Sucesso: primeiro durante vários meses em 1901, depois em 1903, em 1919-1920, em 1935-1936, e em 1939-1940. Porém, os maiores ocorreram em 1920, atingindo magnitude 4.0 e intensidade VI MM, no norte do Estado. Não há relatos de danos apreciáveis nem vítimas.

Tanto em Minas Gerais como em outras partes do Brasil, os tremores de terra naturais ocorrem, geralmente, por deslizamento repentino em falhas ou fraturas geológicas causado pelo acúmulo de tensões geológicas ("pressões internas") a que a crosta está submetida. Estas tensões devem-se às forças tectônicas que movem a placa Sul-Americana.

O estudo sísmico para a Barragem Califórnia seguiu as recomendações da Norma ABNT 13.028/2024 e para o cálculo específico da aceleração, a ser utilizada nas análises de estabilidade. O estudo seguiu os critérios especificados pela *Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation - CSIRO*, no documento *Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design*, onde a aceleração máxima horizontal (PGA) pode ser definida a partir do tempo de retorno (TR) de 475 anos, sendo equivalente a 10% de probabilidade de exceder em 50 anos.

Entretanto, não se desconsiderou o que já existe de publicação sobre ameaça sísmica probabilística (PSHA), que estima expressamente a probabilidade de que vários níveis de movimento do solo causados por terremotos serão excedidos em um determinado local por um determinado período de tempo futuro, apesar de serem estudos ainda não definitivos no Brasil.

Quanto ao coeficiente sísmico horizontal (K_h) usado nas análises de estabilidade pseudoestáticas, foi adotado como sendo igual a 50% do PGA, conforme recomendações de diversos autores quando a estrutura não está diretamente apoiada no topo rochoso (Corpo de Engenheiros, 1982; Marcuson & Franklin, 1983; Hynes-Griffin & Franklin, 1983).

¹ Centro de Sismologia da USP - Relatório Sismologia II. Tremores em Divinópolis – MG. 19 de janeiro de 2022. Universidade de São Paulo.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

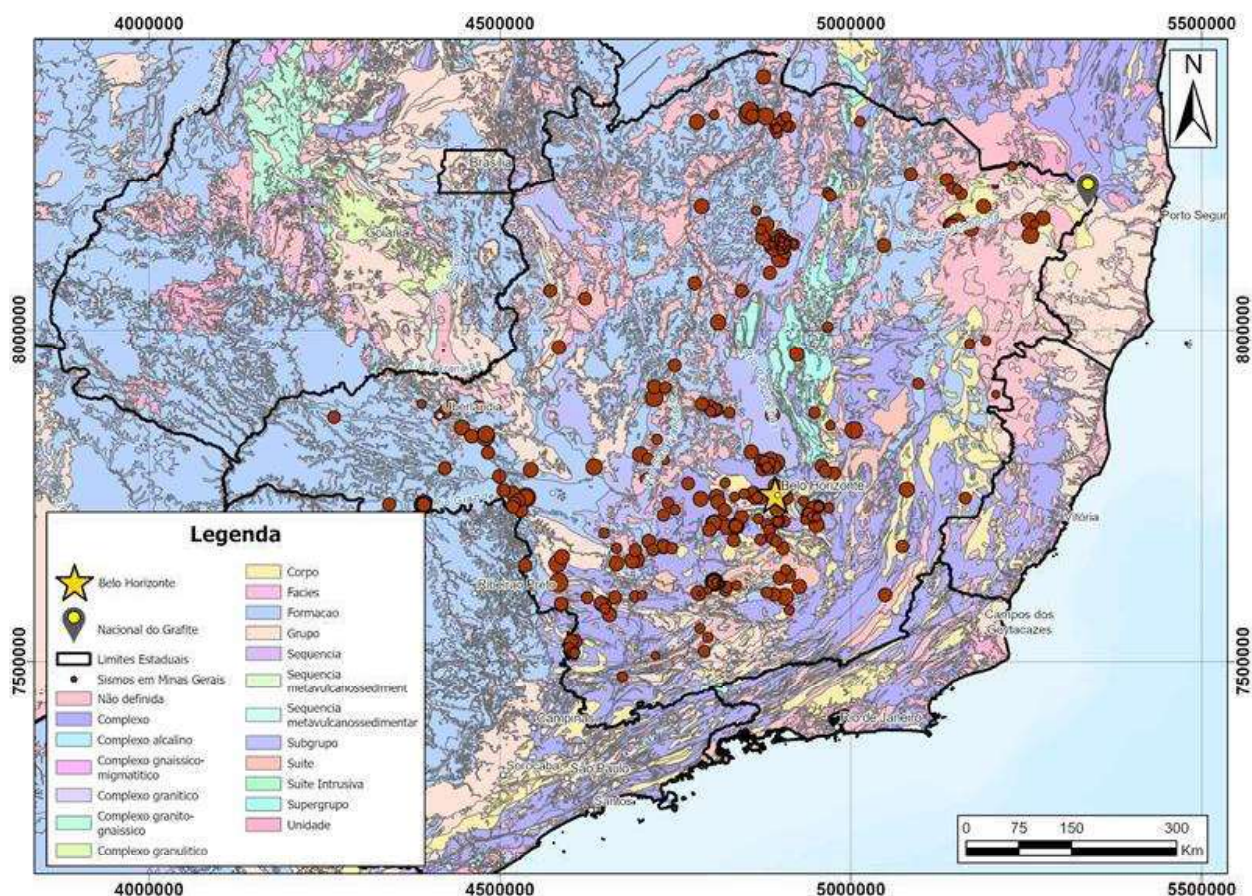


Figura 5.15- Sismos e Geologia em Minas Gerais

(Serviço Geológico do Brasil (SGB) - Departamento de Geologia (DEGEO), providenciado pelo IDE-SISEMA)

Para o valor para o coeficiente sísmico vertical K_v , Seed & Martin (1966), e Duncan & Wright (2005) sugerem que o coeficiente sísmico vertical igual a 0 (zero), sob a hipótese de que o movimento das ondas sísmicas cisalhantes é vertical. Papadimitriou *et al.* (2014), reforça que os valores de acelerações verticais em regiões de baixa atividades sísmicas podem ser consideradas desprezíveis ou de baixa relevância.

Para determinar o PGA para a região da Barragem Califórnia, foram utilizados como base os estudos realizados por Assumpção *et al.* (2016), que apresenta um estudo de ameaça sísmica para regiões do Brasil.

Neste estudo, são apresentadas acelerações de pico em rocha – PGA rocha e orienta que a aceleração de projeto deve levar em conta efeitos de amplificação / atenuação de ondas, distância focal do sismo e afins. Para obtenção do valor de aceleração sísmica, foi considerado o mapa com tempo de retorno (TR) de 475 anos, ou seja, a probabilidade de ocorrência de 10% em 50 anos.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Conforme indicado na **Figura 5.16** a barragem está inserida na zona com aceleração variando entre 0,01g e 0,02g, adotando para este projeto o PGA de 0,02g.

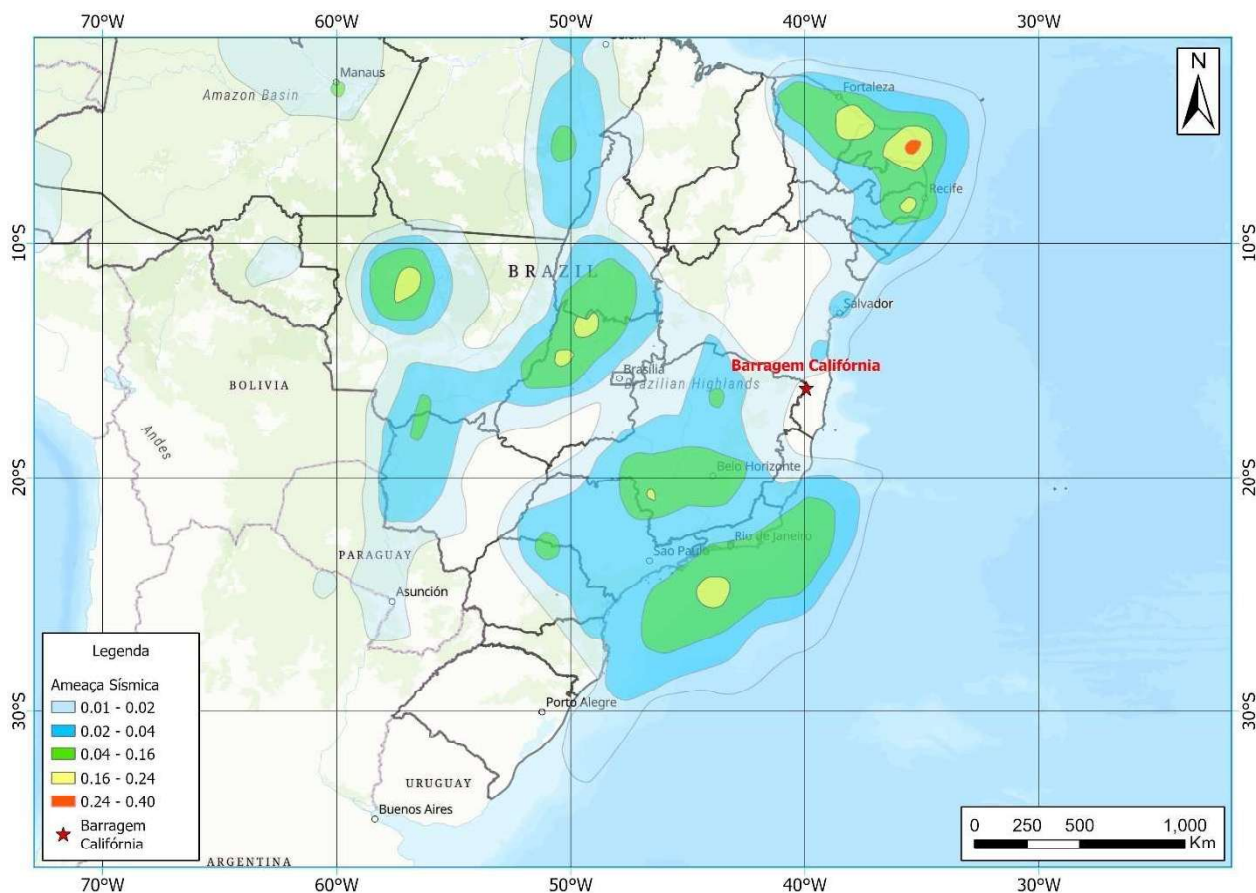


Figura 5.16 - Mapas de Ameaça Sísmica ("Seismic Hazard Maps") para aceleração de pico (Peak Ground Acceleration - PGA) em rocha, para probabilidades de 10% de excedência em 50 anos, correspondendo a período de 475 anos.

(Fonte: Assumpção *et al.*, (2016))

5.4. ADERÊNCIA DO PROJETO *AS IS*

As informações técnicas disponibilizadas através do projeto de "As Is" (como está) permitem avaliar que o mesmo retrata de forma efetiva a condição atual da barragem, inclusive sobre os aspectos que interferem diretamente na segurança da barragem.

Cabe ressaltar, que, na atual situação, a construção da barragem está em conformidade com as normas vigentes.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

6. SISTEMAS DE DRENAGEM

A avaliação dos sistemas de drenagem e extravasão da Barragem Califórnia tem como objetivo verificar as condições operacionais e de conservação dos dispositivos responsáveis pelo controle da percolação interna, pela condução adequada das águas de infiltração e pelo direcionamento do escoamento superficial, contribuindo para a manutenção da estabilidade e da integridade da estrutura.

6.1. SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

Conforme informações apresentadas no *As Is* elaborado pela Geoconsultoria (GF38RT01-R3 - As Is Salto da Divisa), o sistema de drenagem interna da Barragem Califórnia é composto por filtro vertical de areia, com espessura aproximada de 0,80 m, drenos de brita, tapetes drenantes e trincheiras drenantes nas ombreiras. Esses elementos têm a função de coletar e conduzir as águas de percolação, contribuindo para o controle das pressões internas e para a estabilidade da estrutura.

A Figura 6.1 apresenta uma seção da Barragem Califórnia com a representação do sistema de drenagem interna, destacando o filtro vertical e os elementos drenantes implantados na fundação e junto ao pé de jusante. O filtro vertical foi implantado na 1ª etapa construtiva e posteriormente estendido até a cota 183,00 m durante a 2ª etapa.

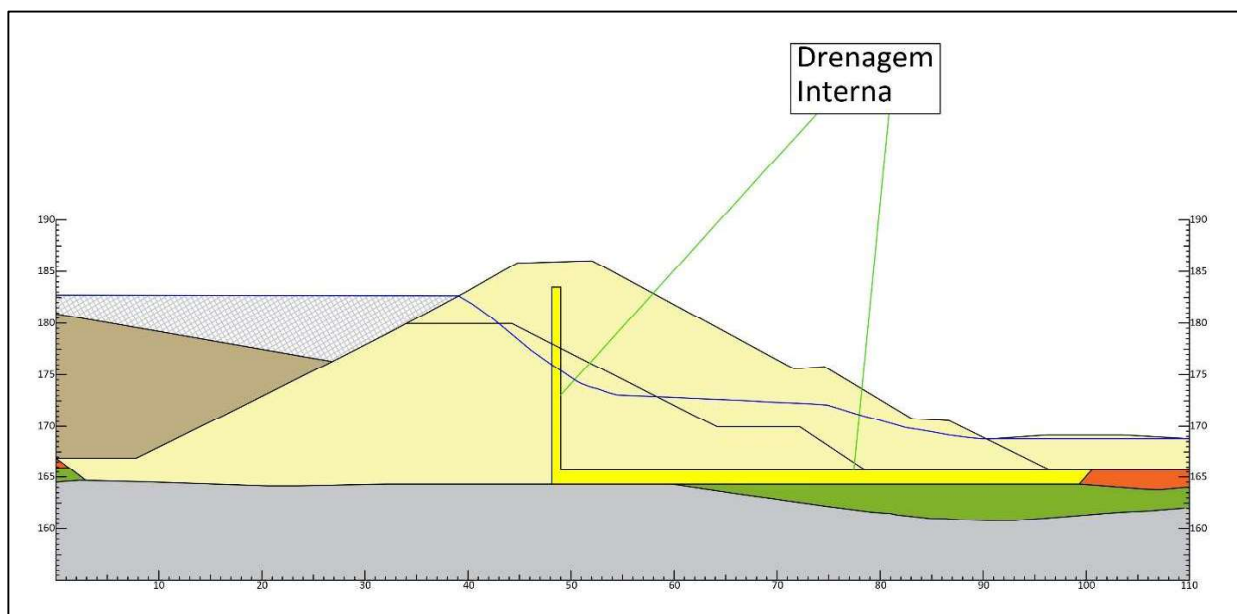


Figura 6.1 – Sistema de Drenagem Interna da Barragem Califórnia

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

As fotografias a seguir, extraídas do documento AS IS elaborado pela Geoconsultoria (GF38RT01-R3 – AS IS Salto da Divisa), apresentam as obras executadas, contemplando desde a 1ª etapa (Figura 6.2, Figura 6.3, Figura 6.4 e Figura 6.5) até a 2ª etapa (Figura 6.6 e Figura 6.7).



Figura 6.2– Tapete de areia sobre a fundação (1ª etapa)



Figura 6.3– Drenos-sanduiche sobre o tapete de areia (1ª etapa)



Figura 6.4– Dreno de brita sob o filtro vertical (1ª etapa)

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia



Figura 6.5– Filtro vertical em execução (1ª etapa)



Figura 6.6– Tapete tipo sanduiche – 2ª etapa



Figura 6.7– Trecho jusante 2ª etapa coberto com areia (2ª Et.)

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Com base nos registros leituras da instrumentação e nas condições observadas em inspeções de campo, o sistema de drenagem interna apresenta condições satisfatórias de funcionamento, devendo ser mantido o acompanhamento periódico das vazões drenadas e dos instrumentos de auscultação.

6.2. SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

Conforme informações apresentadas no AS IS elaborado pela Geoconsultoria (GF38RT01-R3 - As Is Salto da Divisa), o sistema de drenagem superficial da Barragem Califórnia é composto por canaletas de concreto nas bermas e por descidas d'água nas ombreiras, destinadas à coleta e condução das águas pluviais incidentes sobre o maciço. O sistema implantado apresenta configuração mais completa que a prevista originalmente em projeto, sendo constituído por canaletas tipo meia-cana de concreto na berma de cota aproximada 175 m e na berma inferior, além de canaletas retangulares nas regiões de contato entre o maciço e o terreno natural nas ombreiras direita e esquerda. A distribuição das canaletas e descidas d'água é apresentada na Figura 6.8.



Figura 6.8 - Sistema de drenagem superficial da Barragem Califórnia

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

As canaletas das bermas conduzem as águas no sentido da ombreira esquerda, enquanto as canaletas de descida, implantadas desde a crista, direcionam as águas para os dispositivos das bermas e para o terreno natural. Na ombreira direita, a canaleta retangular em degraus se conecta à canaleta da berma de cota aproximada 175 m. Na ombreira esquerda, a canaleta de descida se estende da crista até a canaleta da berma, sendo a vazão posteriormente direcionada ao terreno natural, entre o canal extravasor e o talvegue.

O sistema de drenagem superficial da barragem (canaletas e descidas d'água) foi verificado para a chuva com recorrência de 100 anos, conforme detalhado no item 10.

6.3. SISTEMA EXTRAVASOR

Conforme informações apresentadas no *As Is* elaborado pela Geoconsultoria (GF38RT01-R3 - *As Is* Salto da Divisa), o sistema extravasor da Barragem Califórnia é constituído por canal de aproximação, canal em concreto, incluindo trecho em degraus, e bacia de dissipação, estando implantado na ombreira esquerda da barragem. A Figura 6.9 apresenta a localização do extravasor.

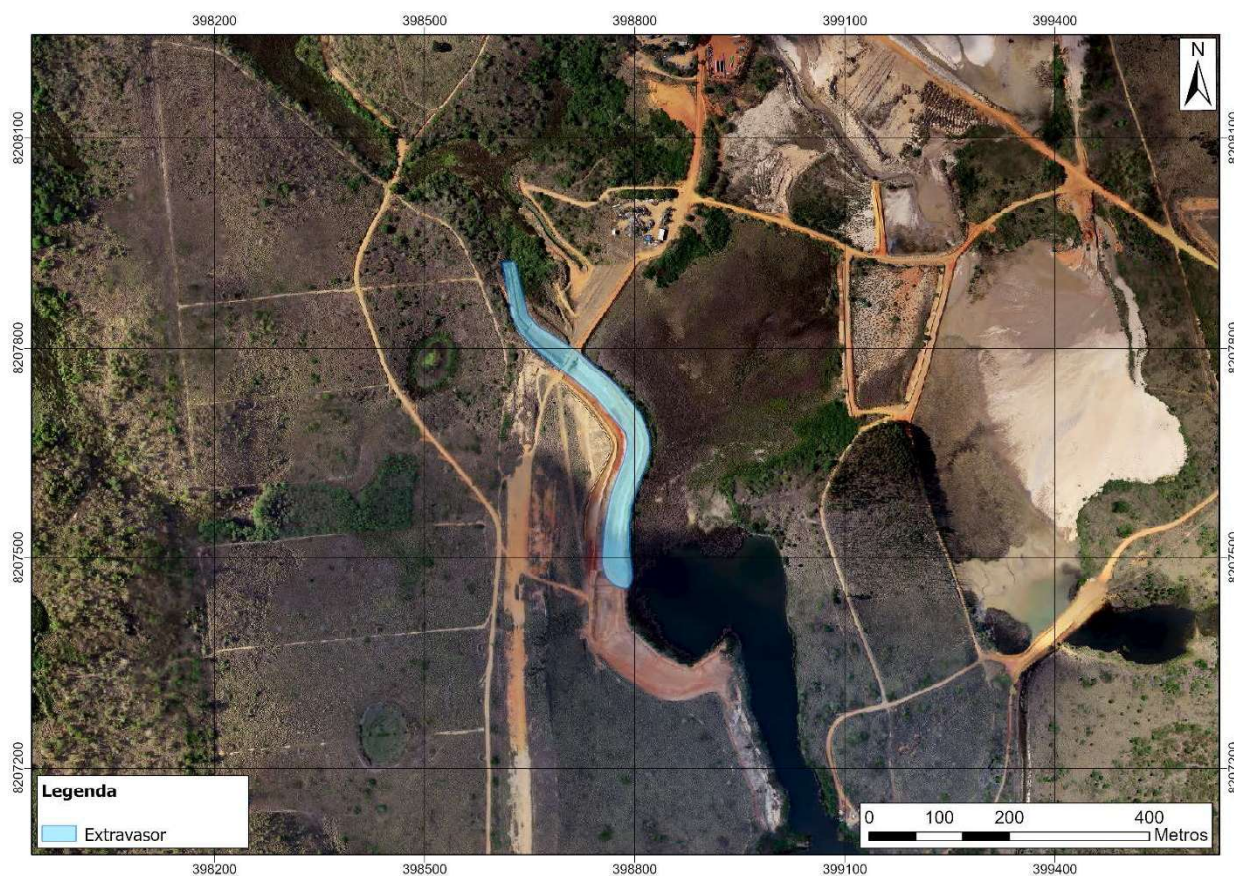


Figura 6.9 - Mapa de localização do extravasor

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

De acordo com o referido documento, o sistema extravasor foi dimensionado para a cheia milenar (TR = 1.000 anos), considerando uma borda livre mínima de 1,0 m. Para a cheia decamilenar (TR = 10.000 anos), o sistema também permite a passagem da vazão correspondente, porém sem a manutenção da borda livre mínima de 1,0 m, sem ocorrência de galgamento do maciço da barragem. Segundo as informações do *As Is*, a estrutura foi executada de acordo com as dimensões estabelecidas em projeto e encontra-se em operação normal.

Durante a inspeção de campo realizada em agosto de 2026, foram obtidas as fotos (ver item 22 – ANEXO FOTOGRÁFICO) retratando a condição atual do sistema extravasor, com vertimento e revestido conforme orientação da equipe técnica.

Dessa forma, com base nas informações do *As Is* elaborado pela Geoconsultoria, nos elementos de projeto disponibilizados e nas observações realizadas durante a inspeção de campo, o sistema extravasor apresenta as características previstas para a barragem, permanecendo sua avaliação vinculada às verificações hidrológicas e hidráulicas atualizadas (item 10) e às condições observadas durante as inspeções de segurança.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

7. AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA

A avaliação documental das inspeções de segurança de rotina da Barragem Califórnia foi realizada com base nos registros disponibilizados pela Nacional de Grafite, contemplando as fichas de inspeção e de monitoramento referentes aos seis meses anteriores ao período de realização desta RTSB.

A análise teve como objetivo verificar a realização e o registro das inspeções periódicas da estrutura, bem como avaliar as condições reportadas ao longo do período, com especial atenção à identificação de anomalias, alterações de comportamento ou situações que tenham demandado acompanhamento, manutenção ou adoção de medidas corretivas.

Foram considerados os registros relativos aos principais componentes da barragem e aos aspectos acompanhados nas rotinas de inspeção e monitoramento, permitindo avaliar não apenas a condição registrada em uma inspeção específica, mas também a evolução das ocorrências ao longo do período analisado.

Nos itens subsequentes são apresentados os resultados da avaliação documental realizada, incluindo, para fins de caracterização, um exemplar de ficha efetivamente utilizada nas inspeções da Barragem Califórnia, bem como a consolidação das principais observações e eventuais anomalias identificadas nos registros avaliados.

7.1. AVALIAÇÃO DAS INSPEÇÕES DE ROTINA

A análise contemplou a verificação da regularidade dos registros, das condições reportadas para os diferentes componentes da estrutura e da ocorrência de eventuais anomalias ou situações que demandassem acompanhamento ou intervenção.

Inicialmente, verificou-se a periodicidade de realização das inspeções, considerando como referência a frequência mínima quinzenal estabelecida no Manual de Operações da Barragem Califórnia para as inspeções de campo e atividades de monitoramento.

As fichas utilizadas contemplam a avaliação visual dos diferentes componentes da barragem e o registro das condições observadas durante cada campanha de inspeção. Para fins de caracterização do procedimento adotado pelo empreendedor, a Figura 7.1 e Figura 7.2 apresentam, a título exemplificativo, uma das fichas efetivamente preenchidas no período analisado.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

NACIONAL DE GRAFITE
Desde 1939

FICHA DE INSPEÇÃO REGULAR (FIR)

Unidade: Salto Estrutura: Barragem Califórnia Data: 06/07/26

Inspeção/Vistoria: Pericles Bruno Responsável: [Assinatura]

Aspecto observado	Ocorrência		Providência em caso de "sim"		Visto do responsável
	Sim	Não	Corrigir	Avisar responsável	
1. Crista					
a) Erosão?		X	X		
b) Trinca?		X		X	
c) Depressões e presença de água acumulada?		X		X	
d) Presença de pragas (formigas, cupins, etc.)?		X	X		
2. Reservatório					
a) Seccionamento por deposição de rejeitos?		X	X		
b) Rejeitos muito próximos à captação?		X	X		
c) Rupturas nas encostas?		X		X	
3. Taludes e áreas de jusante da barragem e ombreiras					
a) Falha na vegetação?		X	X		
b) Vegetação alta?		X	X		
c) Surgência d'água?	X			X	
d) Erosão?		X	X		
e) Instabilidade (trincas ou estufamento)?		X		X	
f) Presença de pragas (formigas, cupins, etc.)?		X	X		
4. Talude de montante					
a) Erosão?		X	X		
b) Instabilidade (trincas ou estufamento)?		X		X	
5. Drenagem superficial					
a) Canaletas obstruídas ou assoreadas?		X	X		
b) Canaletas danificadas (trincadas/deslocadas)?		X		X	
c) Erosão externa?		X	X		
6. Drenagem interna					
a) Saída do dreno obstruída?		X	X		
b) Água suja (carreamento de sólidos)?		X		X	
7. Extravasar					
a) Obstrução da tomada d'água?		X	X		
b) Assoreamento do canal?		X	X		
c) Instabilidades (erosão ou rupturas) nos taludes?		X		X	
d) Trincas ou deterioração do concreto? (desalinhamentos, ferragens expostas, etc.)		X		X	
e) Erosão externa ou na dissipação?		X	X		
f) Vegetação elevada no interior (paredes e soleira)?		X	X		
8. Instrumentação					
a) Instrumento sem proteção ou identificação?		X	X		
b) Instrumento danificado?		X		X	
c) Acesso precário a algum instrumento?		X	X		
9. Tubulação de água					
a) Movimentação ou vazamento na tubulação?		X	X		
b) Risco de incêndio ao redor da tubulação?		X	X		
10. Estradas de acesso					
a) Erosão ou instabilidade (rupturas)?		X		X	
b) Alagamento ou ponto de difícil passagem?		X	X		
11. Cerca e Sinalização					
a) Danificada?		X	X		
b) Deficiente?		X	X		
12. Estaqueamento					
a) Danificado na crista?		X	X		

Figura 7.1 – Modelo de ficha de inspeção regular (FIR)

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Figura 7.2 – Modelo de ficha de inspeção regular (FIR)

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Para as anomalias identificadas, foram verificadas sua recorrência nas inspeções subsequentes, eventuais alterações de condição, evolução ao longo do período e, quando disponíveis nos registros analisados, as medidas de acompanhamento, manutenção ou correção adotadas.

Essa análise permite avaliar o histórico recente das condições da Barragem Califórnia e verificar se as situações registradas nas inspeções de rotina apresentam caráter pontual ou recorrente, subsidiando as considerações da equipe de auditoria quanto às condições de acompanhamento e gestão da segurança da estrutura.

7.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA

A partir da avaliação das fichas de inspeção de segurança de rotina da Barragem Califórnia referentes ao período analisado, foram consolidadas as anomalias e observações registradas pela equipe responsável pelo acompanhamento da estrutura.

A análise considerou não somente a ocorrência individual de cada registro, mas também sua recorrência nas inspeções subsequentes, sua evolução ao longo do período e, quando aplicável, as providências adotadas para acompanhamento ou correção. As anomalias identificadas são discutidas considerando sua relevância para as condições de segurança da estrutura, bem como as medidas de controle, manutenção ou correção adotadas pelo empreendedor.

A Tabela 7.1 apresenta a síntese das ocorrências identificadas.

Tabela 7.1 – Síntese das anomalias e observações registradas nas inspeções de rotina

FIR	Anomalia ou observação
20/07/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor;
06/07/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor;
22/06/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor;
08/06/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor;
22/05/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor;
07/05/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor;
16/04/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor e vegetação alta. Vale ressaltar que nessa data, o monitoramento da vazão da surgência já havia sido iniciado;

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

FIR	Anomalia ou observação
06/04/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor e a presença de vegetação alta;
18/03/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor;
06/03/2026	retorno da surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor
09/02/2026	surgência e água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor;
21/01/2026	surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor;
07/01/2026	retorno da surgência de água na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal do extravasor e a presença de vegetação alta;

Conforme apontado nas inspeções, foi observada uma surgência de água no terreno natural da ombreira esquerda, próximo ao pé da barragem, vinculada à passagem de água pelo canal extravasor. Essa surgência (Figura 7.3), apesar de ocorrer a jusante da ombreira, tem sido monitorada com medidor de vazão, além de acompanhamento com inspeções visuais.



Figura 7.3 Surgência da ombreira esquerda no extravasor

Na Figura 7.4 é possível observar que a surgência apresenta histórico anterior ao de monitoramento deste relatório. Era comum em períodos chuvosos no passado operacional da barragem, secando na estiagem. Com a impermeabilização do canal, em abril/2024, essa surgência se extinguiu. Neste ano voltou a ocorrer. Tem sido monitorada e inspecionada, sendo

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

constatado que o fluxo de água é proveniente de uma trincheira drenante existente. Durante a inspeção realizada no dia 29/07/2026, foi realizada a escavação para identificação dos possíveis bloqueios na trincheira com o intuito de reestabelecer o fluxo de água. Além disso, foi criada uma saída de drenagem direcionando o fluxo de água para a canaleta mais próxima para caso o fluxo não seja reestabelecido como anteriormente.

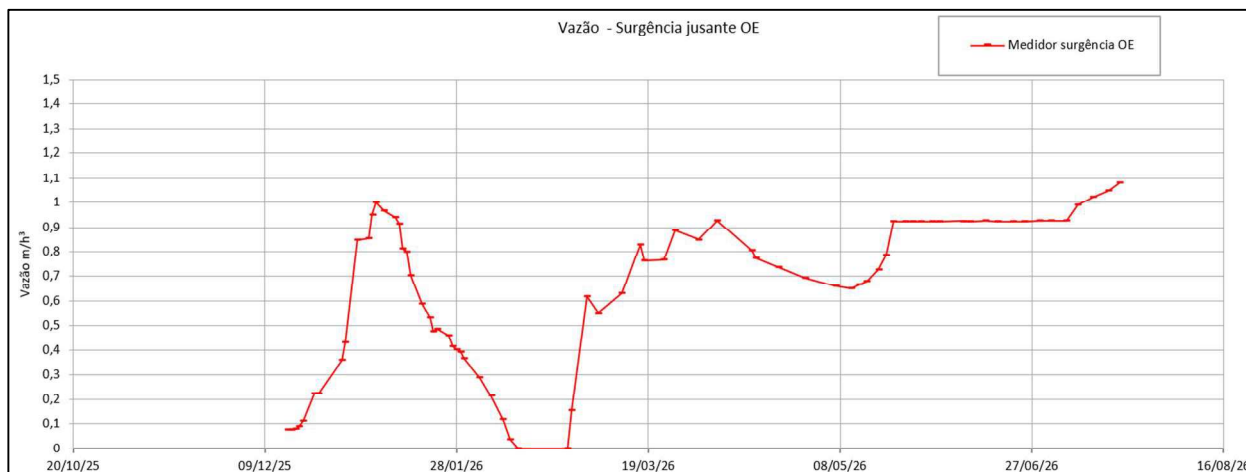


Figura 7.4 Gráfico de monitoramento da vazão da surgência

Dessa forma, por entender que a surgência na ombreira está sendo monitorada e controlada, foi definida a pontuação três (3) na avaliação do quesito percolação da tabela que analisa o estado de conservação da estrutura.

7.3. RIS – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO SEMESTRAL

No período compreendido desde a última Auditoria Técnica de Segurança de Barragem, foi analisado o Relatório de Inspeção Semestral – RIS referente ao primeiro semestre de 2026, documento GF35RT33 Rev. 0, emitido em março de 2026. Conforme registrado no documento, as inspeções de segurança foram realizadas com frequência quinzenal e, durante o período avaliado, não foram identificadas anomalias ou pontos de atenção que justificassem alteração da condição de segurança ou reclassificação da Categoria de Risco da Barragem Califórnia. Sendo as principais ocorrências registradas pelo auditor:

- Rasgo na manta de impermeabilização do canal intermediário (registro: fev/26);
- Surgência na área de jusante, na ombreira esquerda associada a passagem de água pelo canal extravasor (registro: fev/26);
- Vegetação arbustiva no canal de aproximação do extravasor, ao longo da parede direita na base junto a estrutura de concreto da estrutura (registro: fev/26);

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

- Vegetação arbustiva no talude de montante próximo a ombreira esquerda (registro: fev/26).

O auditor ainda ressalta:

- A barragem apresenta aspecto adequado, com a vegetação roçada e todos os instrumentos identificados;
- As bermas dos taludes de corte do canal extravasor de aproximação não apresentavam pontos com acúmulo de água;
- Na margem direita do canal extravasor, próximo ao emboque, havia vegetação arbustiva;
- O emboque e o desemboque do extravasor estavam limpos;
- Não havia passagem de água pelo extravasor;
- Não há sinais visíveis de deterioração das estruturas de concreto do extravasor e canal extravasor;
- A crista da barragem não apresentava sinais de empoçamento de água;
- As saídas de drenagem da crista estavam adequadas;
- A vegetação presente na barragem (taludes e bermas) estava roçada, permitia inspeção visual adequada;
- Todas as bermas estavam identificadas e a crista estaqueada;
- As canaletas de drenagem superficial das bermas estavam limpas e sem sinais de avarias;
- A vazão do dreno de fundo estava límpida;
- A central de “desaguamento” (CDE) estava em funcionamento normal;
- Os acessos até o barramento estavam trafegáveis.

Adicionalmente, os dados de monitoramento indicaram comportamento estável da instrumentação, incluindo níveis piezométricos, vazões dos drenos e marcos superficiais. Durante o período chuvoso, não foram registrados eventos que afetassem a segurança da estrutura, intervenções emergenciais ou anomalias nos dispositivos hidráulicos, sendo considerado normal o comportamento dos sistemas de drenagem interna, drenagem superficial e extravasor. Dessa forma, não foram identificadas, no RIS avaliado, anomalias que demandem tratamento específico no âmbito da presente Auditoria, permanecendo aplicáveis as ações rotineiras de manutenção, inspeção e monitoramento da Barragem Califórnia.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

8. INSPEÇÃO DE CAMPO

Para a elaboração deste RTSB, foram considerados os registros das inspeções realizadas pela equipe da 3EM em 05/08/2026. Durante essas atividades foram avaliados os principais componentes da barragem (acessos, crista, taludes de montante e jusante, ombreiras, reservatório, sistema extravasor, drenagem superficial, saída do dreno de fundo, instrumentação, tubulações, cercamento, sinalização e estaqueamento), buscando-se identificar eventuais anomalias, alterações ou condições de conservação que pudessem interferir no desempenho e na segurança da estrutura.

De maneira geral, a crista se encontra em condições satisfatórias de conservação, não sendo observadas depressões, afundamentos, trincas ou outras feições anômalas da estrutura.

As ombreiras e os taludes da Barragem Califórnia foram avaliados durante as atividades de campo, incluindo as regiões de contato entre o maciço e o terreno natural. Não foram identificados processos erosivos, trincas ou outras anomalias aparentes nesses contatos que pudessem indicar condições adversas ao comportamento da estrutura. A ocorrência de surgência de água a jusante da ombreira esquerda permanece em monitoramento e investigação quanto à sua origem. De modo geral, as ombreiras apresentaram condições satisfatórias de conservação no período avaliado.

O reservatório da Barragem Califórnia foi avaliado durante as inspeções e a visita técnica, apresentando condições satisfatórias, sem registro de anomalias relevantes não tendo sido identificadas condições aparentes no reservatório que demandassem intervenções.

Os dispositivos de drenagem superficial apresentavam-se desobstruídos e em condições satisfatórias de conservação, não sendo identificadas trincas ou rachaduras relevantes nos elementos inspecionados. O sistema extravasor também apresentou condições satisfatórias, sem anomalias aparentes nos elementos de concreto. Na saída do dreno de fundo, foi constatada vazão residual de pequena magnitude, com fluxo visualmente límpido e sem indícios de carreamento de sólidos.

Quanto à instrumentação, os dispositivos inspecionados encontravam-se devidamente identificados e não foram observados danos aparentes que comprometessem sua utilização. Da mesma forma, tubulações aparentes, cercamento, sinalização e estaqueamento apresentaram condições gerais satisfatórias no momento da visita.

A avaliação conjunta dos componentes inspecionados não evidenciou anomalias relevantes ou condições que indiquem comprometimento da segurança da Barragem Califórnia. As condições observadas em campo mostraram-se ainda compatíveis, de forma geral, com os registros das inspeções de rotina avaliados no âmbito deste RTSB. O registro fotográfico completo da inspeção, contendo a identificação dos componentes avaliados e a descrição das respectivas condições observadas, é apresentado no ANEXO 3.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

9. RECOMENDAÇÕES DAS AUDITORIAS DE BARRAGENS

No último RTSB realizado pela empresa GC Geoconsultoria em agosto de 2025, e no relatório de auditoria de segurança (GF35RT30) realizado em 30/09/2025, foram relatadas condições satisfatórias da barragem, não sendo identificados sinais de instabilidade.

As recomendações registradas na última auditoria são apresentadas na Tabela 9.1, juntamente com campo destinado à avaliação de seu atendimento na presente auditoria.

Tabela 9.1 – Avaliação das recomendações da última auditoria de segurança

Recomendação	Prazo	Situação atual
Reforçar o plantio no talude de jusante, nos locais com pouca vegetação	Rotina	Atendido
Manter o combate às pragas como parte da rotina de manutenção da barragem.	Rotina	Atendido
Manter a crista e os taludes da barragem roçados e limpos, de forma a possibilitar adequada inspeção visual da estrutura.	Rotina	Atendido
Manter limpo o emboque do sistema extravasor.	Rotina	Atendido
Manter as ações de monitoramento da barragem, contemplando inspeções de campo quinzenais e a realização das leituras dos instrumentos.	Rotina	Atendido

A avaliação realizada no âmbito da presente auditoria indicou que todas as recomendações constantes na RTSB anterior foram atendidas. Ressalta-se que as ações recomendadas possuem caráter essencialmente rotineiro e preventivo, estando relacionadas à manutenção das condições adequadas de conservação, inspeção e monitoramento da Barragem Califórnia, não decorrendo da identificação de anomalias ou de condições indicativas de comprometimento da segurança da estrutura.

Dessa forma, recomenda-se a continuidade dessas práticas no âmbito da rotina de gestão da segurança da barragem, de modo a preservar as condições satisfatórias observadas e possibilitar a identificação tempestiva de eventuais alterações no comportamento da estrutura.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

10. AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA

10.1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos utilizados como referência para a avaliação da Barragem Califórnia encontram-se detalhados no documento “Estudo Hidrológico e Hidráulico – Estimativa da Precipitação Máxima Provável (PMP) para a Barragem Califórnia” – NG-04-EH-CA-RL-R0, elaborado em 2023. O estudo contempla a determinação da Precipitação Máxima Provável (PMP) e das precipitações associadas a diferentes Tempos de Retorno (TR), além de análises destinadas ao trânsito de cheias, à avaliação da sobrelevação do nível do reservatório e à verificação hidráulica do sistema extravasor.

Para a caracterização do regime pluviométrico regional, foram inicialmente avaliadas estações pluviométricas localizadas no entorno da Barragem Califórnia, sendo identificadas cinco estações em um raio de 50 km e outras nove em um raio de 100 km.

A seleção das estações consideradas representativas para o estudo levou em conta a extensão e a representatividade das séries históricas, priorizando-se períodos com, no mínimo, 20 anos completos de registros, além da similaridade das características fisiográficas em relação à área da barragem, como altitude, bacia hidrográfica e condições de relevo, e da ausência de interferências orográficas relevantes. A partir desses critérios, foram selecionadas cinco estações pluviométricas: Jacinto, Jordania, Itapebi, Rubim e Mundo Novo, conforme apresentado na Figura 10.1 do estudo.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 10.1 – Dados das Estações Pluviométricas utilizadas para Estudo Hidrológico

ESTAÇÕES		SÉRIE DE DADOS					CARACTERÍSTICAS GERAIS					
CÓDIGO	ESTAÇÕES	N. DE ANOS VÁLIDOS	PERÍODO		ANOS EXCLUÍDOS		DISTÂNCIA DA B. CALIFÓRNIA (km)	ALTITUDE (m)	ESTADO	MUNICÍPIO	BACIA	SUB-BACIA
			De	Até	Incomp.	Outlier						
1640000	Jacinto	60	1949	2019	12	2	37,48	160,00	MG	Jacinto	Atlântico, Trecho Leste	Rio Jequitinhonha
1540019	Jordania	22	1996	2020	2	2	42,06	-	MG	Jordania	Atlântico, Trecho Leste	Rio Jequitinhonha
1639000	Mundo Novo	53	1963	2021	7	1	39,42	180,00	BA	Eunápolis	Atlântico, Trecho Leste	Rios Mucuri, São Mateus
1539006	Itapebi	63	1944	2021	15	1	52,69	80,00	BA	Itapebi	Atlântico, Trecho Leste	Rio Jequitinhonha
1640009	Rubim	21	1996	2020	6	1	66,21	-	MG	Rubim	Atlântico, Trecho Leste	Rio Jequitinhonha

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 10.2 – Estatística Descritiva das Estações Pluviométricas

PARÂMETROS	ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS				
	ITAPEBI	JACINTO	MUNDO NOVO	RUBIM	JORDANIA
Medidas de Tendência Central					
Contagem dos Dados (n)	64	62	54	22	24
Máximo	137,80	153,20	150,90	229,00	122,00
Mínimo	35,20	30,60	37,60	47,00	28,60
Média ($\bar{x}$)	73,65	75,41	77,45	78,77	72,86
Mediana (X_{md})	69,55	74,60	74,05	66,50	70,15
Medidas de Dispersão e Assimetria					
Desvio Padrão (s)	23,682	28,008	23,453	38,058	22,608
Coeficiente de Assimetria (g)	0,758	0,802	0,910	3,185	0,448
Coeficiente de Curtose (k)	0,251	0,457	0,970	12,102	0,317

A bacia de contribuição da Barragem Califórnia foi traçada no HEC-HMS (versão 4.10) e é apresentada na Figura 10.2 a seguir. Como base topográfica para esse traçado foi utilizado um modelo digital de elevação *ALOS PALSAR*, e abrange uma área de 5,94 Km².

Na Figura 10.2 também é possível observar o talvegue que foi delimitado para a bacia de contribuição da Barragem Califórnia considerando o fundo de vale da mesma.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

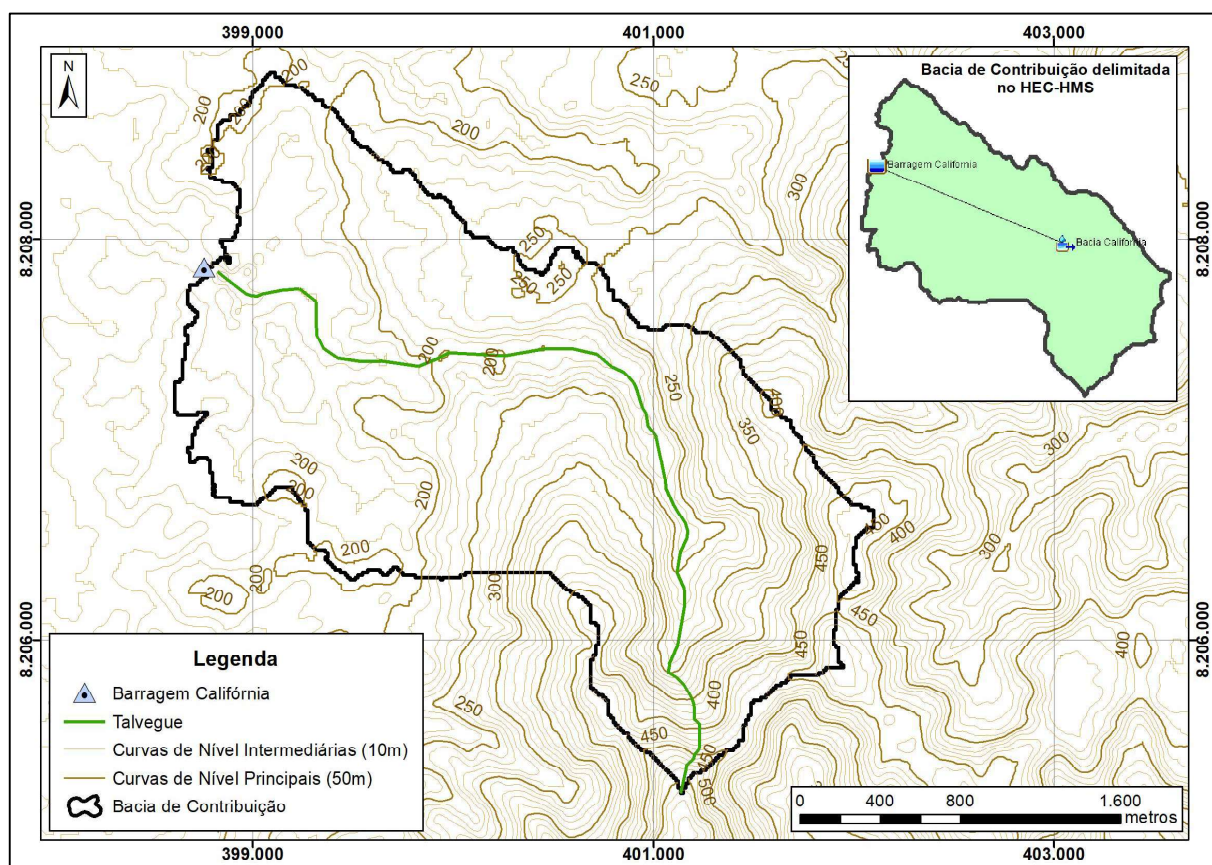


Figura 10.2 – Bacia de Contribuição da Barragem Califórnia

(Fonte: NG-04-EH-CA-RL-R0)

O talvegue principal da bacia apresenta comprimento aproximado de 5,08 km, tendo sido determinada declividade média equivalente de 27,42 m/km. A partir das características geométricas da bacia, foi obtido tempo de concentração de 83,26 minutos, parâmetro posteriormente utilizado na modelagem hidrológica.

Para determinação das chuvas de projeto, foram analisadas as séries de máximas anuais das cinco estações pluviométricas selecionadas. Os dados foram avaliados segundo diferentes distribuições estatísticas, tendo sido verificado que as séries das estações apresentaram bom ajuste à distribuição de Gumbel. O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov confirmou a utilização dessa distribuição, com nível de significância de 5%. Para o ajuste estatístico, foi utilizado o método da Máxima Verossimilhança (MMV), exceto para a estação Rubim, na qual foi utilizado o Método dos Momentos (MOM).

A Precipitação Máxima Provável – PMP foi determinada pelo método hidrometeorológico de transposição de tormentas. Para os ajustes necessários à transposição, foram utilizados dados da Estação Climatológica de Pedra Azul (INMET/ANA – 83393), considerada meteorologicamente

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

homogênea e com características de relevo semelhantes às da área da Barragem Califórnia. A partir da metodologia adotada, foi obtida uma PMP diária de 297,70 mm.

Paralelamente, a análise estatística das precipitações máximas anuais resultou nas alturas de chuva associadas aos diferentes tempos de retorno. Para a região da Barragem Califórnia foram adotados os valores médios obtidos a partir das cinco estações pluviométricas analisadas. Os principais resultados são apresentados na Tabela 10.3.

Tabela 10.3 – Desagregação da chuva

Duração	Fator de Desagregação	TR - Tempo de Retorno								PMP
		2	10	25	50	100	500	1.000	10.000	
5 minutos	0,340	12,71	19,84	23,28	25,95	28,74	34,85	37,48	46,20	47,00
10 minutos	0,540	19,87	31,03	36,41	40,58	44,95	54,51	58,61	72,25	73,51
15 minutos	0,700	25,89	40,43	47,44	52,87	58,56	71,01	76,36	94,13	95,77
20 minutos	0,810	30,53	47,67	55,94	62,35	69,05	83,74	90,05	111,00	112,94
25 minutos	0,910	34,30	53,56	62,86	70,05	77,59	94,08	101,18	124,72	126,90
30 minutos	0,740	37,36	58,34	68,46	76,30	84,50	102,47	110,19	135,84	138,21
1 hora	0,520	50,49	78,84	92,52	103,11	114,20	138,48	148,92	183,57	186,77
2 horas	1,270	56,50	88,22	103,52	115,37	127,78	154,95	166,63	205,41	208,99
6 horas	0,720	68,74	107,33	125,95	140,37	155,47	188,52	202,73	249,91	254,27
8 horas	0,780	72,35	112,97	132,57	147,74	163,64	198,43	213,38	263,04	267,63
10 horas	0,850	75,34	117,64	138,05	153,85	170,40	206,63	222,21	273,92	278,70
12 horas	0,880	77,81	121,50	142,58	158,90	176,00	213,41	229,50	282,91	287,84
24 horas	1,095	88,13	137,60	161,47	179,96	199,32	241,69	259,91	320,39	325,98
1 dia	1	80,48	125,66	147,46	164,34	182,02	220,72	237,36	292,60	297,70

A precipitação diária correspondente ao TR de 10.000 anos foi estimada em 292,60 mm, enquanto a PMP diária foi estimada em 297,70 mm. Dessa forma, a PMP foi considerada a condição mais restritiva para o estudo do trânsito de cheias e a verificação do sistema extravasor da Barragem Califórnia.

Após a definição das chuvas de projeto, procedeu-se à sua desagregação temporal para obtenção das precipitações correspondentes a menores durações. A partir das simulações dos hidrogramas, foi definida a duração de 8 horas como crítica, tanto para o TR de 10.000 anos quanto para a PMP. Para essa duração, foram obtidas precipitações de 263,04 mm para o TR de 10.000 anos e 267,63 mm para a PMP.

Para a distribuição temporal da precipitação crítica, foi adotado o método de Huff, segundo quartil e 50% de probabilidade de ocorrência, conforme a metodologia indicada no estudo. A distribuição resultante foi utilizada para a composição das chuvas de projeto empregadas nas simulações hidrológicas subsequentes.

Assim, para fins das verificações hidrológicas e hidráulicas da Barragem Califórnia, o estudo estabeleceu como condição crítica a PMP com duração de 8 horas e altura acumulada de 267,63

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

mm, superior à chuva associada ao TR de 10.000 anos, de 263,04 mm. Os procedimentos de tratamento das séries pluviométricas, análises estatísticas, determinação da PMP, desagregação temporal e demais cálculos encontram-se detalhados no estudo hidrológico-hidráulico de referência, sendo apresentados neste RTSB apenas os principais critérios e resultados necessários à avaliação da segurança da estrutura.

A Tabela 10.4 apresenta a distribuição das chuvas para o período de retorno decamilenar e para a PMP, considerando a duração crítica de 8 horas, com precipitações acumuladas de 263,04 mm e 267,63 mm, respectivamente.

Tabela 10.4 – Distribuição das chuvas (TR=10.000 anos e PMP)

DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS (TR=10.000 anos e PMP) - Duração de 8h - 2º QUARTIL DE HUFF							
Duração (min)	Tempo (%)	Precipitação no intervalo (%)	Precipitação no intervalo (mm)		Precipitação acumulada (%)	Precipitação acumulada (mm)	
			TR=10.000 anos	Chuva PMP		TR=10.000 anos	Chuva PMP
0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
24	5	3	7,89	8,03	3	7,89	8,03
48	10	5	13,15	13,38	8	21,04	21,41
72	15	4	10,52	10,71	12	31,56	32,12
96	20	4	10,52	10,71	16	42,09	42,82
120	25	6	15,78	16,06	22	57,87	58,88
144	30	7	18,41	18,73	29	76,28	77,61
168	35	10	26,30	26,76	39	102,59	104,37
192	40	12	31,56	32,12	51	134,15	136,49
216	45	11	28,93	29,44	62	163,09	165,93
240	50	8	21,04	21,41	70	184,13	187,34
264	55	6	15,78	16,06	76	199,91	203,40
288	60	5	13,15	13,38	81	213,06	216,78
312	65	4	10,52	10,71	85	223,58	227,48
336	70	3	7,89	8,03	88	231,48	235,51
360	75	3	7,89	8,03	91	239,37	243,54
384	80	2	5,26	5,35	93	244,63	248,89
408	85	2	5,26	5,35	95	249,89	254,25
432	90	2	5,26	5,35	97	255,15	259,60
456	95	2	5,26	5,35	99	260,41	264,95
480	100	1	2,63	2,68	100	263,04	267,63
TOTAL (mm em 8h)			263,04	267,63	TOTAL (mm em 8h)	263,04	267,63

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

10.2. TRÂNSITO DE CHEIAS E BORDA LIVRE

A avaliação do trânsito de cheias no reservatório da Barragem Califórnia teve como objetivo determinar a resposta da estrutura ao evento hidrológico de projeto, considerando o balanço entre as vazões afluentes ao reservatório e as vazões descarregadas pelo sistema extravasor. A partir dessa análise, foi possível estimar o nível máximo atingido no reservatório durante a passagem da cheia e, consequentemente, verificar a borda livre disponível em relação à cota da crista da barragem. O trânsito de cheias foi realizado por meio do software HEC-HMS 4.10, considerando as características da bacia de contribuição, a curva cota x volume do reservatório, as características do sistema extravasor e a chuva de projeto.

Conforme apresentado no item anterior, foi adotada como condição crítica a Precipitação Máxima Provável (PMP), com duração de 8 horas. Para esse evento, foi considerada uma precipitação acumulada de 267,63 mm, superior à chuva associada ao Tempo de Retorno de 10.000 anos, de 263,04 mm. A simulação do trânsito de cheias foi realizada considerando esse evento de projeto, tendo sido obtidos os hidrogramas de entrada e saída do reservatório (Figura 10.3 e Figura 10.4).

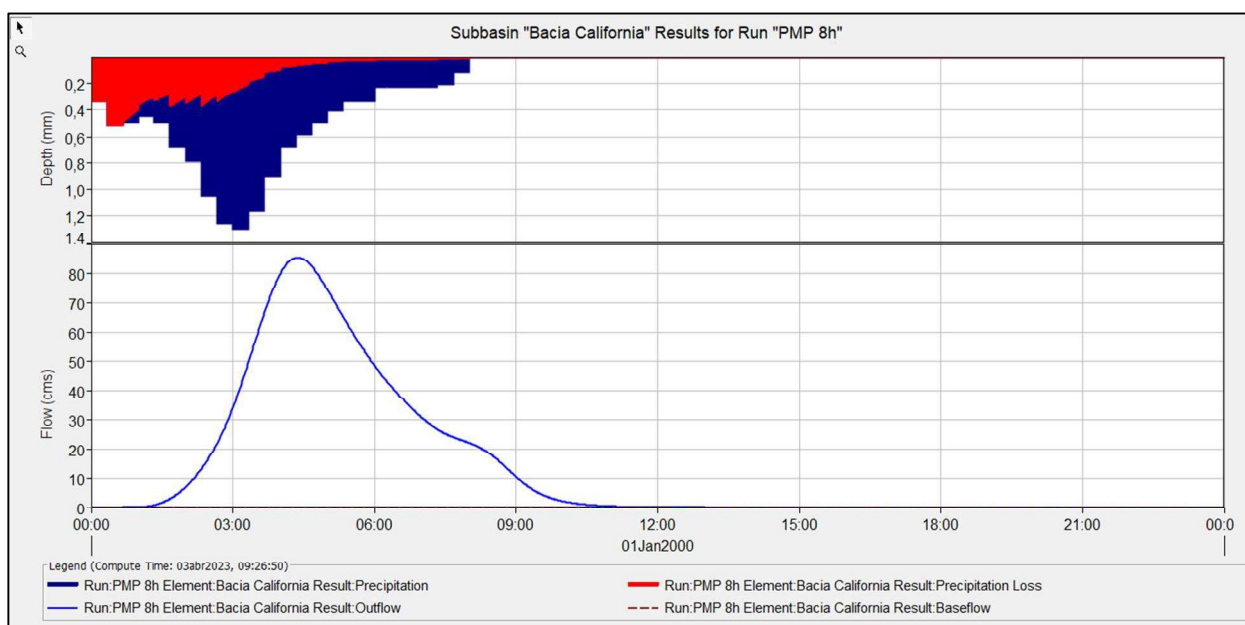


Figura 10.3 – Hidrograma de entrada no reservatório

(Fonte: NG-04-EH-CA-RL-R0)

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

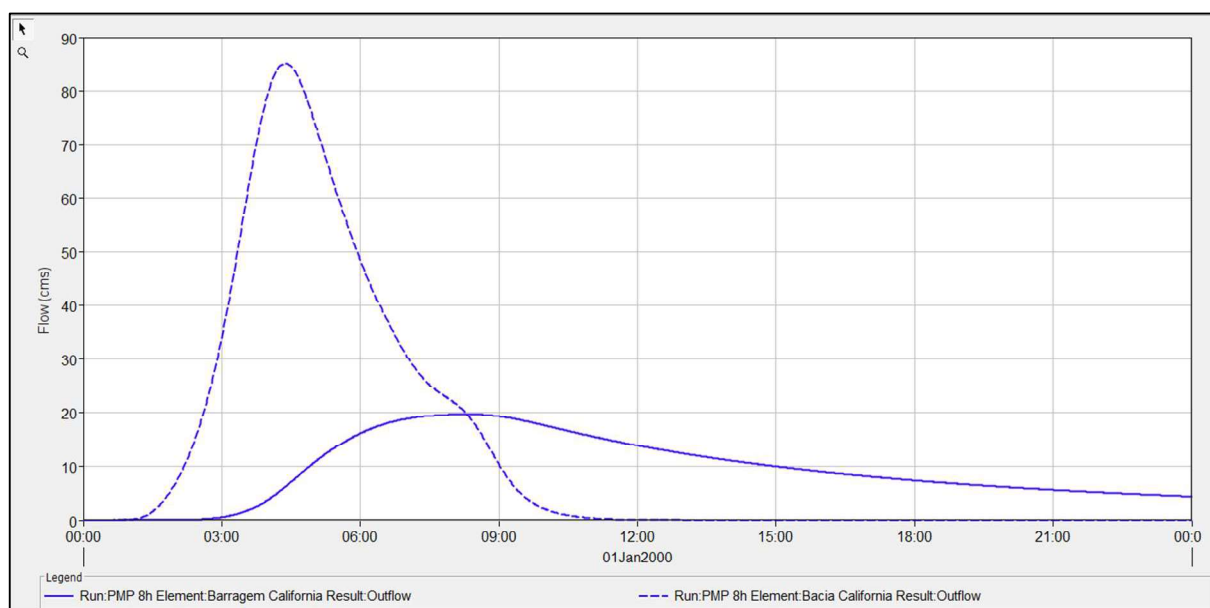


Figura 10.4 – Gráfico da vazão de entrada e vazão de saída do reservatório em relação ao tempo

(Fonte: NG-04-EH-CA-RL-R0)

Os resultados da simulação indicaram vazão de pico afluente de 85,2 m³/s e vazão de pico defluente de 19,7 m³/s, evidenciando o efeito de amortecimento promovido pelo reservatório durante a propagação da cheia. O nível de água máximo *maximorum* foi estimado na cota 184,60 m, resultando em uma borda livre de 1,20 m. Os principais resultados do trânsito de cheias são apresentados na Tabela 10.5.

Tabela 10.5 – Simulação da PMP de 8h no reservatório

Resumo dos Resultados	
Vazão de pico afluente	85,2 m ³ /s
Vazão de pico defluente	19,7 m ³ /s
Nível de água máximo <i>maximorum</i>	184,6 m
Borda livre	1,2 m

Considerando a cota de coroamento da Barragem Califórnia, igual a 185,80 m, e o nível de água máximo *maximorum* obtido na simulação, a borda livre resultante foi de 1,20 m. O estudo de referência considera que a borda livre mínima atende ao critério de 1,00 m para barragens de aterro.

De forma complementar, foi avaliada a influência da formação de ondas sobre a borda livre disponível. Para essa verificação foram considerados os cenários de operação normal associada a vento excepcional e de cheia máxima de projeto associada a vento habitual. As amplitudes estimadas foram de 0,71 m para a onda eólica excepcional e 0,34 m para a onda eólica habitual.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

O estudo concluiu que a borda livre operacional, de 3,8 m, acomoda a onda eólica excepcional, enquanto a borda livre mínima, de 1,2 m, acomoda a onda eólica habitual.

Os resultados do cálculo das amplitudes das ondas eólicas são apresentados na Tabela 10.6 e na Tabela 10.7.

Tabela 10.6 – Cálculo de amplitude da onda eólica excepcional

Resumo dos Resultados	
Fetch	0,400 Km
Velocidade do vento	160,0 (km/h)
Amplitude da onda eólica	0,71 m

Tabela 10.7 – Cálculo de amplitude da onda eólica habitual

Resumo dos Resultados	
Fetch	0,400 Km
Velocidade do vento	80,0 (km/h)
Amplitude da onda eólica	0,34 m

10.3. VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA EXTRAVASOR

A verificação hidráulica do sistema extravasor da Barragem Califórnia foi realizada considerando a vazão de pico defluente de 19,7 m³/s, obtida no estudo de trânsito de cheias para o evento de projeto associado à PMP com duração de 8 horas. A partir dessa análise, foram avaliadas as condições hidráulicas ao longo dos diferentes componentes do sistema vertente, desde o canal de aproximação até a bacia de dissipação e a restituição do escoamento a jusante.

O sistema extravasor da Barragem Califórnia está implantado na margem esquerda e é constituído por um canal de aproximação escavado em solo, uma soleira plana de concreto, um canal intermediário, um canal rápido em degraus e uma bacia de dissipação.

A partir da topografia de detalhe utilizada no estudo, o canal de aproximação apresenta aproximadamente 680 m de extensão, 5,0 m de largura na base, declividade de 0,12% e paredes laterais com inclinação de 1,5H:1V. A soleira do extravasor está posicionada na El. 182,00 m, possui 3,0 m de largura e 4,0 m de extensão. A jusante da soleira, o canal intermediário possui as mesmas dimensões básicas do canal de aproximação e declividade de 0,1%. O canal rápido vence um desnível de aproximadamente 13 m, sendo constituído por degraus com 1,0 m de altura e comprimentos variando entre 4,10 e 5,80 m.

A localização do sistema extravasor é apresentada no Item 6.3. A seção transversal do canal de aproximação, com a respectiva lâmina de escoamento, é apresentada na Figura 10.5. O regime

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

de escoamento verificado no canal rápido é apresentado na Figura 10.6, enquanto a configuração da bacia de dissipação é apresentada na Figura 10.7.

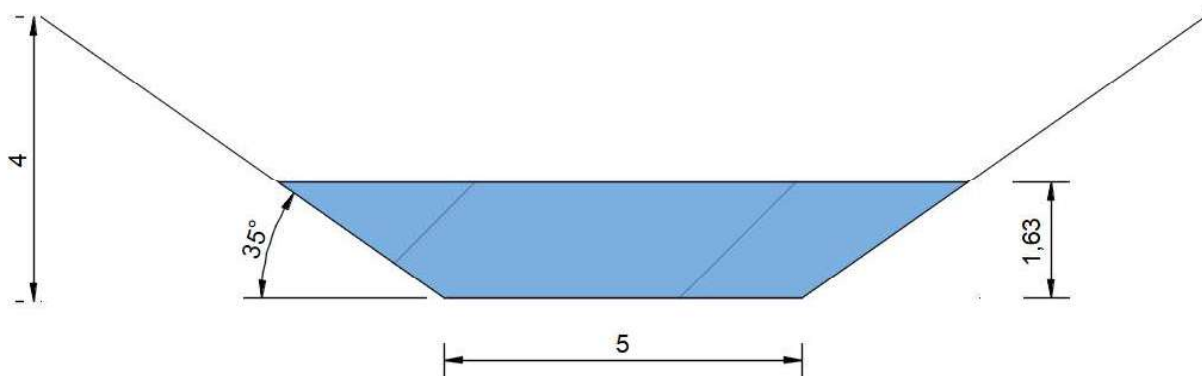


Figura 10.5 – Desenho esquemático da lâmina de água na seção transversal do canal de aproximação

(Fonte: NG-04-EH-CA-RL-R0)

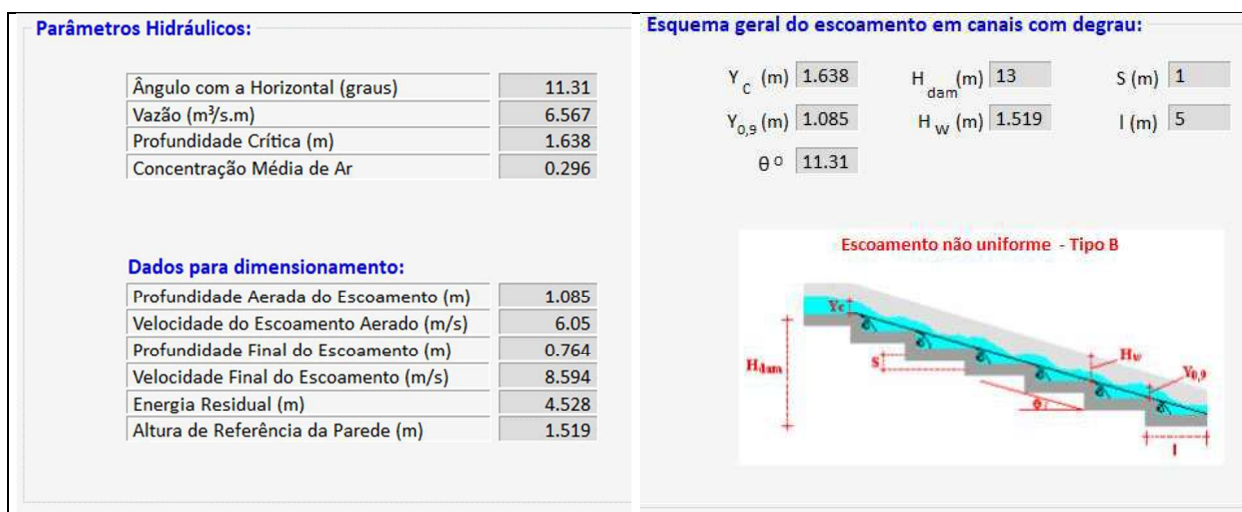


Figura 10.6 – Regime de *Skimming Flow* ($Q=19,7 m^3/s$)

(Fonte: NG-04-EH-CA-RL-R0)

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

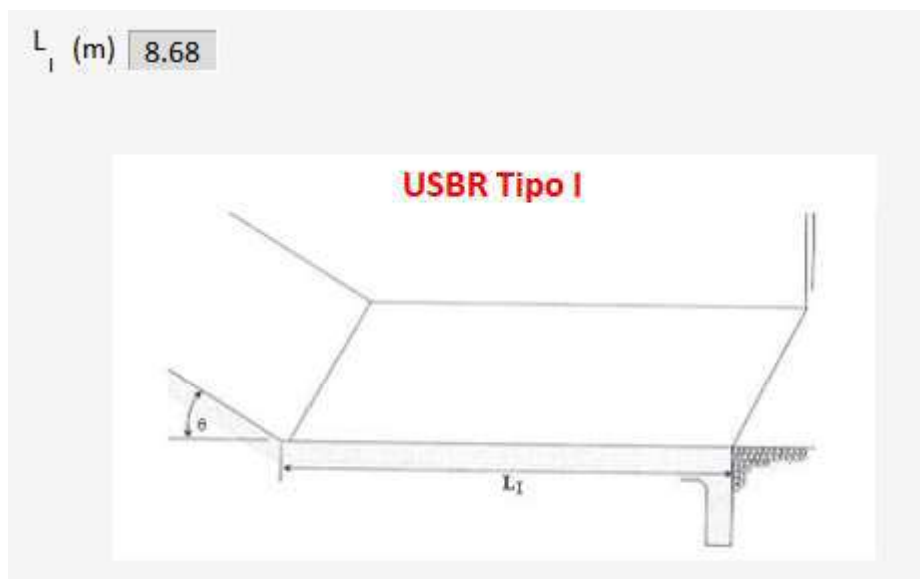


Figura 10.7 – Desenho esquemático da bacia de dissipação

(Fonte: NG-04-EH-CA-RL-R0)

A verificação hidráulica do canal de aproximação foi realizada por meio do software SisCCoH 1.1, considerando a vazão de 19,7 m³/s. Os resultados indicaram profundidade de escoamento de aproximadamente 1,63 m e velocidade de 1,62 m/s, sendo o canal considerado suficiente para direcionar as águas até a soleira do extravasor. A geometria considerada possui largura de base de 5,0 m, inclinação lateral de 1,5H:1V e declividade longitudinal de 0,12%.

A capacidade de descarga da soleira do extravasor foi determinada pela relação entre cota e descarga, considerando coeficiente de descarga de 1,55 e largura de 3,0 m. Para a cota de 184,60 m, correspondente ao nível de água máximo maximorum obtido no trânsito de cheias, foi calculada uma descarga de 19,70 m³/s, compatível com a vazão máxima defluente obtida na simulação. A curva cota-descarga é apresentada na Tabela 10.8.

Tabela 10.8 – Tabela Cota x Descarga (El. 185,80 m)

Cota (m)	Descarga (m³/s)
182,0	0,00
182,2	0,42
182,4	1,18
182,6	2,16
182,8	3,33
183,0	4,65
183,2	6,11
183,4	7,70
183,6	9,41

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Cota (m)	Descarga (m ³ /s)
183,8	11,23
184,0	13,15
184,2	15,17
184,4	17,29
184,6	19,70
184,8	21,79
185,0	24,16
185,2	26,62
185,4	29,15
185,6	31,76
185,8	34,45

Na sequência da soleira, o escoamento é conduzido pelo canal intermediário, escavado em solo, com largura de base de 5,0 m, taludes laterais de 1,5H:1V e declividade de 0,1%. A verificação hidráulica foi realizada pelo SisCCoH 1.1 para a vazão de 19,7 m³/s. Os resultados indicaram profundidade de fluxo de aproximadamente 1,71 m, sendo o canal considerado compatível com a vazão analisada, cuja altura adotada para o canal é de aproximadamente 4,0 m. Os principais resultados dessa verificação são apresentados na Tabela 10.9.

Tabela 10.9 – Verificação hidráulica do canal intermediário

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos	
Seções Regulares	
Dados de Entrada	
Vazão (m ³ /s)	19,7
Coeficiente de Manning	0,023
Declividade (m/m)	0,001
Largura inferior (m)	5
Inclinação lateral (h/v)	1,5
Resultados	
Área molhada (m ²)	12,974
Coeficiente de Manning	0,023
Declividade (m/m)	0,001
Inclinação lateral (h/v)	1,5
Largura superior (m)	10,141
Largura do fundo (m)	5
Número de Froude	0,429
Profundidade do fluxo (m)	1,714

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos	
Vazão (m³/s)	19,7
Velocidade (m/s)	1,518
Quantitativos de Projeto por metro	
Borda livre (m)	1
Profundidade (m)	2,7137
Área Superficial (m²/m)	13,1412
Área de Revestimento (m²/m)	14,785
Volume de Corte (m³/m)	24,615

O canal rápido foi verificado para a mesma vazão de 19,7 m³/s, considerando largura de 3,0 m, degraus com altura de 1,0 m e desnível total de aproximadamente 13 m. As simulações realizadas no SisCCoH 1.1 indicaram regime de escoamento do tipo Skimming Flow. A profundidade aerada calculada foi de 1,079 m, enquanto a altura de referência da parede foi estimada em 1,519 m, indicando condições compatíveis com a geometria considerada para o canal. A Tabela 10.10 apresenta os principais resultados dessa verificação.

Tabela 10.10 – Verificação hidráulica do canal rápido

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos	
Escoamento em Degraus - Regime <i>Skimming Flow</i>	
Dados de Entrada	
Vazão (m³/s)	19,7
Largura do Canal (m)	3
Altura do Degrau (m)	1
Comprimento do Patamar do Degrau (m)	5
Desnível do Trecho (m)	13
Resultados	
Escoamento não uniforme - Tipo B	
Ângulo com a Horizontal (graus)	11,31
Vazão (m³/s.m)	6,567
Profundidade Crítica (m)	1,638
Concentração Média de Ar	0,296
Dados para dimensionamento	
Profundidade Aerada do Escoamento (m)	1,085
Velocidade do Escoamento Aerado (m/s)	6,05
Profundidade Final do Escoamento (m)	0,764

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos	
Escoamento em Degraus - Regime <i>Skimming Flow</i>	
Velocidade Final do Escoamento (m/s)	8,594
Energia Residual (m)	4,528
Altura de Referência da Parede (m)	1,519
Cálculo do Ponto de Início do Escoamento Aerado	
Altura da rugosidade do degrau - k (m)	0,981
Posição do Início da Aeração - LA (m)	25,903
Profundidade do Início da Aeração - Ya (m)	1,079
Risco de Cavitação	
Velocidade no Início da Aeração - Va (m/s)	6,089
Velocidade Crítica de Cavitação no Início da Aeração - Vcra (m/s)	17,771

Na extremidade do canal rápido encontra-se a bacia de dissipação, dimensionada para a vazão de 19,7 m³/s por meio do SisCCoH 1.1. Os resultados indicaram uma bacia do tipo USBR I, com velocidade de entrada de 6,05 m/s, profundidade de jusante de 2,17 m e comprimento calculado de 8,68 m, tendo sido adotado comprimento de 10,0 m. A borda livre calculada foi de 0,82 m e a altura de referência da parede de 2,99 m, sendo adotada altura de 3,20 m. A Tabela 10.11 apresenta os resultados do dimensionamento da bacia de dissipação.

Tabela 10.11 – Dimensionamento da bacia de Dissipação

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos	
Bacias de Dissipação	
Dados de Entrada	
Vazão (m ³ /s)	19.7
Largura a montante (m)	3
Profundidade montante D1 (m)	1.085
Resultados	
Tipo de Bacia	USBR Tipo I
Número de Froude à montante	1.86
Velocidade de entrada (m/s)	6.05
Profundidade jusante D2 (m)	2.17
Comprimento da bacia (m)	8.68
Borda livre calculada (m)	0.82
Altura de referência da parede (m)	2.99

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos	
Bacias de Dissipação	
Energia dissipada (m)	0.14
Velocidade de saída (m/s)	3.03

De forma complementar, foi avaliada a necessidade de proteção a jusante da bacia de dissipação em função da velocidade residual do escoamento. Considerando velocidade de saída estimada em 3,03 m/s, foi prevista proteção adicional por enrocamento pesado em uma extensão de aproximadamente 9 m, com diâmetro médio D50 de 0,20 m.

Dessa forma, as verificações hidráulicas apresentadas no estudo de referência indicam que os componentes do sistema extravasor da Barragem Califórnia apresentam condições compatíveis com a condução da vazão máxima de 19,7 m³/s associada à cheia de projeto. O estudo avaliou individualmente o canal de aproximação, a soleira do extravasor, o canal intermediário, o canal rápido e a bacia de dissipação, contemplando ainda a proteção da região a jusante.

As memórias de cálculo, parâmetros hidráulicos, condições de contorno, perfis de escoamento e verificações individualizadas dos componentes encontram-se detalhados no estudo hidrológico e hidráulico de referência, sendo apresentados neste RTSB apenas os principais resultados necessários à avaliação da segurança hidráulica da estrutura.

10.4. VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial da Barragem Califórnia é constituído por canaletas do tipo meia-cana, com diâmetro de 0,30 m e declividade de aproximadamente 1%, associadas a escadas de drenagem com comprimentos variando entre 8 e 10 m (Figura 10.8). As canaletas são responsáveis pela coleta e condução do escoamento superficial, direcionando as águas para as estruturas de descida.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

**Figura 10.8 - Vista da canaleta de drenagem**

(Fonte: GF35-RT-17, RISR 2021)

10.4.1. Canaletas

Para a verificação hidráulica das canaletas, em atendimento à NBR 13.028/2017, foi considerada precipitação com duração de 15 minutos e Tempo de Retorno de 100 anos, correspondente a 58,56 mm. Adotando-se uma área máxima de contribuição de 0,21 ha e coeficiente de *runoff* de 0,8, foi obtida uma vazão de projeto de 0,11 m³/s.

A verificação foi realizada por meio do software SisCCoH 1.1, considerando canaleta com diâmetro de 0,30 m, declividade de 1% e coeficiente de Manning de 0,013. Para a vazão analisada, foi obtida profundidade de escoamento de aproximadamente 0,12 m e velocidade de 3,97 m/s. Considerando a altura de 0,15 m das canaletas, os resultados indicaram capacidade suficiente para condução da vazão de projeto. Os principais parâmetros de entrada e resultados do dimensionamento são apresentados na Tabela 10.12.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 10.12 – Dimensionamento de canaletas

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos	
Seções Regulares	
Dados de Entrada	
Vazão (m ³ /s)	0,11
Diâmetro (m)	0,3
Coeficiente de Manning	0,013
Declividade (m/m)	0,1
Resultados	
Área molhada (m ²)	0,028
Coeficiente de Manning	0,013
Declividade (m/m)	0,1
Diâmetro (m)	0,3
Número de Froude	4,143
Profundidade do fluxo (m)	0,124378
Relação Y/D	0,4146
Vazão (m ³ /s)	0,11
Velocidade (m/s)	3,972

10.4.2. Escadas Hidráulica

As águas coletadas pelas canaletas são conduzidas por escadas de drenagem, cujos trechos apresentam aproximadamente 0,8 m de largura e comprimento, com degraus de altura variável entre 0,3 e 0,5 m. Para a verificação hidráulica das escadas, foi considerada precipitação com duração de 15 minutos e Tempo de Retorno de 500 anos, correspondente a 71,01 mm. A área de contribuição considerada foi de 0,20 ha, resultando em uma vazão de projeto de 0,13 m³/s.

A verificação foi realizada no software SisCCoH 1.1, considerando regime de escoamento do tipo *Nappe Flow*. Para o trecho analisado, foram considerados degraus com 0,3 m de altura e 0,8 m de comprimento, desnível de 10 m e 13 degraus. Os resultados indicaram profundidade crítica de 0,139 m, altura de parede de 0,376 m e velocidade final de aproximadamente 4,79 m/s. Os principais parâmetros de entrada e resultados do dimensionamento são apresentados na Tabela 10.13.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 10.13 – Dimensionamento da escada de drenagem superficial

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos	
Escoamento em Degraus - Regime Nappe Flow	
Dados de Entrada	
Vazão - Q (m³/s)	0,13
Largura do Canal - B (m)	0,8
Altura dos Degraus - S (m)	0,3
Comprimento dos Degraus - l (m)	0,8
Desnível do Trecho - Hd (m)	10
Número de Degraus	13
Resultados	
Parâmetros Hidráulicos	
Ângulo com a Horizontal (graus)	20,556
Vazão (m³/s.m)	0,162
Profundidade Crítica (m)	0,139
Número de Queda	0,1
Dados para Dimensionamento	
Comprimento de Queda (m)	0,692
Comprimento do Ressalto (m)	1,434
Altura da Parede (m)	0,376
Energia Residual (m)	1,201
Energia Dissipada (m)	9,008
Energia Máxima (m)	10,209
Eficiência (%)	88,239
Profundidade Final do Escoamento (m)	0,034
Velocidade Final (m/s)	4,785
Froude Final	8,29

De acordo com o estudo de referência, as verificações hidráulicas indicaram que as canaletas e as escadas de drenagem possuem capacidade compatível com as respectivas vazões de projeto. Para as canaletas foi considerado o Tempo de Retorno de 100 anos, enquanto para as escadas de drenagem foi adotado o Tempo de Retorno de 500 anos, em atendimento aos critérios estabelecidos para o sistema de drenagem superficial.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

10.5. CONCLUSÃO SOBRE A VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA

Com base nos estudos hidrológicos e hidráulicos utilizados como referência, verifica-se que a Barragem Califórnia apresenta condições satisfatórias de segurança hidráulica para os cenários avaliados. O trânsito de cheias para a condição associada à PMP, com duração de 8 horas, resultou em nível de água máximo maximorum na cota 184,60 m e borda livre de 1,20 m, valor considerado adequado no estudo de referência, inclusive em relação às ondas eólicas analisadas.

O sistema extravasor foi verificado para a vazão máxima defluente de 19,7 m³/s, tendo sido avaliados o canal de aproximação, a soleira do extravasor, o canal intermediário, o canal rápido e a bacia de dissipação. Os resultados indicaram condições hidráulicas compatíveis com a vazão de projeto, incluindo a proteção da região a jusante por meio de enrocamento.

Da mesma forma, o sistema de drenagem superficial foi verificado para os eventos de projeto estabelecidos para as canaletas e escadas de drenagem, com resultados considerados adequados quanto à capacidade de condução das vazões analisadas.

Dessa forma, com base nas informações e verificações apresentadas nos estudos de referência, não foram identificadas condições que indiquem comprometimento da segurança hidráulica da Barragem Califórnia. Recomenda-se a manutenção das rotinas de inspeção, limpeza e manutenção dos sistemas de drenagem superficial e extravasão, de modo a preservar as condições de funcionamento verificadas nos estudos.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

11. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS RESÍDUOS/REJEITOS

Os rejeitos armazenados no reservatório da Barragem Califórnia são oriundos do beneficiamento do minério de grafita na Unidade de Salto da Divisa.

11.1. CLASSIFICAÇÃO DO REJEITO – NBR 10.004

As amostras do rejeito da Barragem Califórnia foram ensaiadas pela ALS, que emitiu o Boletim Analítico 229887/2021-1, em conformidade com as especificações da **NBR 10.004**, enquadrando o rejeito como **Classe II A – Não inerte**.

11.2. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Foram sugeridos, pela equipe da 3EM – Mineração e Geologia, pontos de coleta das amostras deformadas de rejeitos no reservatório para execução dos ensaios laboratoriais. A Figura 11.1 ilustra a localização dos pontos de extração das amostras, que foram coletadas pela Geomaster.

A caracterização geotécnica foi realizada a partir de ensaios em rejeitos provenientes da Barragem Califórnia, sendo as amostras coletadas pela Geomaster Engenharia de Solos Ltda. A determinação granulométrica completa foi realizada pela Prospecsolos. Por fim, os ensaios in situ (frasco de areia e umidade) foram executados pela própria Geomaster. Os ensaios realizados pela Prospecsolos foram identificados pelo nome de arquivo: PPS-RT-LAB-002-2024. Os ensaios in situ realizados pela Geomaster foram identificados pelo nome de arquivo: Densidades California. Os ensaios incluem a análise dos parâmetros geotécnicos, ensaios reológicos e análise de partículas.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia



Figura 11.1 – Indicação dos Pontos de Coleta – Barragem Califórnia

De maneira resumida, as características dos rejeitos são apresentadas na Tabela 11.1:

Tabela 11.1 – Características dos Rejeitos

Rejeitos Grossos (areia)	Rejeitos finos (lama)
- 90% de areia, com predominância de areia média. - Densidade dos sólidos: 2,7 g/cm³ - índice de vazios máximo: 1,1 - índice de vazios mínimo: 0,6 - Densidade seca: 1,25 a 1,7 g/cm³ - Coeficiente de permeabilidade: 5 a 4 x 10⁻³ cm/s - Baixa compressibilidade	- 25% de areia, 50% de silte e 20% de argila. - Densidade dos sólidos: 2,7 g/cm³ - Densidade seca: 1,0 g/cm³ - Coeficiente de permeabilidade: 1 x 10⁻⁵ cm/s

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

A distribuição granulométrica das amostras coletadas está representada nas Figura 11.2 e Figura 11.3.

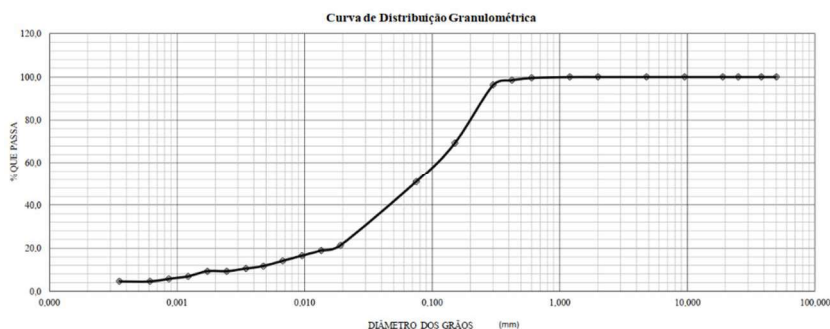


Figura 11.2– Distribuição Granulométrica da Amostra 01

(Fonte: ProspecSolos, 2024)

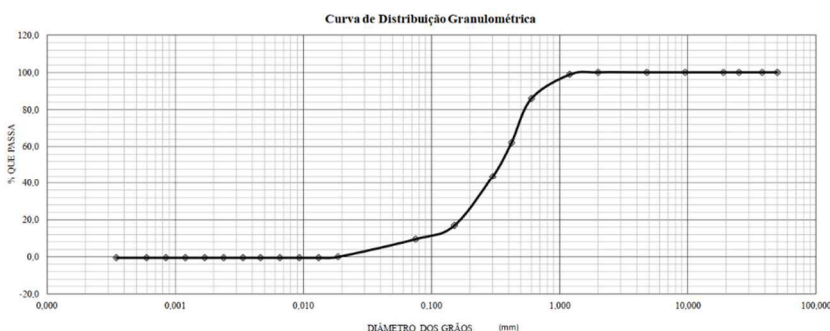


Figura 11.3 – Distribuição Granulométrica da Amostra 02

(Fonte: ProspecSolos, 2024)

Os resultados da Massa Específica dos Grãos são apresentados na Tabela 11.2.

Tabela 11.2– Determinação da Massa Específica dos Grãos

Amostra	Massa Específica dos Grãos (g/cm³)	Amostra	Massa Específica dos Grãos (g/cm³)
Amostra 01 / Ensaio 01	2,61	Amostra 02 / Ensaio 01	2,65
	2,61		2,65
	2,57		2,63
Amostra 01 / Ensaio 02	2,63	Amostra 02 / Ensaio 02	2,60
	2,63		2,60
	2,57		2,63

Para obtenção da Massa Específica Aparente *In Situ*, foi utilizado o método do frasco de areia, sendo o ensaio em campo realizado pela Geomaster. Para cada um dos locais, repetiu-se os ensaios três vezes. Os resultados estão apresentados na Tabela 11.3.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 11.3 – Resultados de *umidade in situ* e densidade e dos sólidos

Amostra	Teor de Umidade (%)	Densidade Seca (g/cm³)	Densidade Úmida (g/cm³)
Ponto 01	44,3	1,31	1,89
	45,9	1,49	2,17
	60,0	0,87	1,40
Ponto 02	32,8	1,21	1,61
	40,9	1,17	1,65
	38,8	1,15	1,60

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

12. MODOS DE FALHAS

A metodologia utilizada para avaliar os modos de falha com potencial de provocar a ruptura da Barragem Califórnia teve como base o desmembramento do sistema, bem como eventuais causas que poderiam estar associadas a estes modos de falha, utilizando-se a documentação referente aos projetos e estudos sobre a barragem, assim como o último relatório de auditoria (Relatório de Inspeção de Segurança Regular – RISR).

A Tabela 12.1 apresenta um quadro resumo dos modos de falha das barragens de terra, com seus componentes e causas, em conformidade com as boas práticas preconizadas no Boletim 194 do ICOLD.

Conforme pode ser observado nessa mesma tabela, a Barragem Califórnia se encontra em uma condição de segurança adequada frente aos diversos modos de falha analisados, com probabilidades mínimas de ocorrência de falha. Portanto, considerar um modo de falha crível não implica em avaliar a probabilidade de ocorrência. Dos quatro modos de falha recomendados para análise no Boletim 194, concluiu-se que a falha por liquefação não é aplicável essa barragem.

Tabela 12.1 – Identificação dos modos de falha, componentes e causas

MODO DE FALHA	COMPONENTE AFETADO	ANÁLISE DA BARRAGEM CALIFÓRNIA
Galgamento	Maciço	O sistema extravasor da barragem já está dimensionado para os eventos de tempestade mais severa (PMP) e atende aos requisitos de borda livre, o que afasta o risco de galgamento por cheias extremas ou ondas. Além disso, não se identificou riscos de deslizamento de encostas no entorno do reservatório. Também não possui estruturas de lançamento ou captação de lama ou água e conta com uma gestão de riscos cuidadosa. Mesmo assim, conforme recomendado pelo ICOLD, a análise considerou a remota possibilidade de erosão ou bloqueio do vertedouro, deformação da crista devido a recalque ou instabilidade, erro humano e sabotagem.
Erosão Interna	Maciço / Fundação	O projeto e a construção do maciço obedeceram aos requisitos de drenagem interna, contando com as transições requeridas nas normas, o monitoramento demonstra não haver gradientes hidráulicos inadequados e não existem tubulações atravessando maciço ou fundação. Além disso, não há indícios de má distribuição de tensões dentro da barragem, causando recalques diferenciais. Tampouco foram identificadas características na fundação que possam causar erosão interna. Por último, o local da barragem não está sujeito a sismos relevantes. Por força da legislação, este passa a ser um cenário crível, tendo em vista que não se pode considerar a condição de "risco zero" de colmatação.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

MODO DE FALHA	COMPONENTE AFETADO	ANÁLISE DA BARRAGEM CALIFÓRNIA
Instabilidade Estática	Maciço / Fundação	Os planos de investigação realizados foram satisfatórios para o conhecimento dos diversos materiais que compõem a fundação e o maciço. A posição do nível d'água nas seções analisadas está bem fundamentada. As análises de estabilidade elaboradas para avaliação de segurança da barragem chegaram a fatores de segurança adequados, conforme a norma preconiza, tendo sido simuladas as condições de carregamento necessárias, incluindo a pseudo-estática. Caso ainda ocorra uma falha por este mecanismo, a ruptura iria ocorrer no final por uma combinação de galgamento e/ou <i>piping</i>.
Liquefação	Maciço / Fundação	Não foi identificada presença de materiais susceptíveis a liquefação (solo de comportamento contrátil, saturado e não coesivo) seja na fundação ou seja no maciço, não sendo, portanto, um modo crível de falha para essa barragem.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

13. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

O presente tópico tem como objetivo avaliar as condições de estabilidade da Barragem Califórnia.

Para este estudo, foram avaliadas condições de ruptura global e entre bermas, em conformidade com os critérios de estabilidade previstos na NBR 13.028:2025 e requisitados no Termo de Referência da FEAM.

13.1. METODOLOGIA APLICADA

As análises de estabilidade foram realizadas no *software* Slide2, adotando os métodos de Morgenstern-Price e Spencer, adequados para a avaliação de superfícies de ruptura não circulares, além do método de Sarma, conforme recomendam as boas práticas de engenharia para taludes complexos. Para fins de emissão da Declaração de Condição de Estabilidade (DCE), utilizou-se o método que resultou o valor de fator de segurança mais conservador.

O critério de resistência ao cisalhamento utilizado foi o de Mohr-Coulomb, enquanto, para os métodos de rupturas, foram analisadas as rupturas circulares e não circulares.

13.2. PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA ADOTADOS

A base para definição dos parâmetros de resistência está detalhada no item 5.2.4. Em resumo, os parâmetros adotados para os materiais da fundação e maciço estão descritos na Tabela 13.1.

Cabe observar que para o maciço, apesar de ter sido construído em duas etapas que se encontram diferenciadas nas seções geológicas, adotou-se os mesmos parâmetros de resistência, uma vez que a análise dos furos de sondagem indicou NSPTs similares nos dois horizontes.

Tabela 13.1 – Parâmetros geotécnicos utilizados nas análises de estabilidade

Material	γ [kN/m ³]	TESÕES EFETIVAS		τ S_u/σ'_v	Justificativa
		c' [kPa]	ϕ' [°]		
Aterro compactado ¹	20	12	27		Valores estimados a partir dos ensaios triaxial
rejeito	18	0	25	0,20	Valores estimados a partir dos ensaios triaxial
Drenagem interna	21	0	34		Valores fundamentados em referências bibliográficas especializadas
Colúvio	21	6	30		Valores estimados a partir dos ensaios triaxial
Solo residual	21	29	24		Valores estimados a partir dos ensaios triaxial
Rocha (gnaisse) ³	21	100	45		Valor médio entre granitos e gnaisses (Mecânica das Rochas – Manuel Rocha)

c – coesão, ϕ – ângulo de atrito; γ – peso específico natural; τ – razão de resistência não drenada

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

13.3. SEÇÕES REPRESENTATIVAS

As análises foram realizadas com base em três seções estrategicamente selecionadas para representar fidedignamente a condição de estabilidade da barragem. Considerou-se fatores como: altura máxima da barragem, interação com a fundação e ombreiras, nível d'água, condições de percolação dados de auscultação e parâmetros geotécnicos obtidos nos estudos prévios.

A posição das seções está demonstrada na Figura 5.11, enquanto os perfis geológicos estão representados na Figura 5.12, na Figura 5.13 e na Figura 5.14.

13.4. LINHA FREÁTICA

Para a definição da posição da linha freática adotada nas análises de estabilidade, foi utilizado como condição de referência o histórico de leituras dos instrumentos instalados na Barragem Califórnia, sendo:

- Para o cenário que representa as condições normais de operação, adotou-se as leituras atuais dos INAs, piezômetros e Régua Limnimétrica.
- Para a condição extrema adotou-se as maiores leituras já registradas, bem como o reservatório no seu nível máximo (EL. da soleira do vertedouro).

*A condição extrema **não representa o comportamento esperado da barragem**, mas sim uma situação hipotética e extrema, destinada a avaliar o fator de segurança sob um cenário desfavorável, garantindo que a estrutura apresente desempenho satisfatório mesmo em condições excepcionais.*

13.5. CENÁRIOS E FATORES DE SEGURANÇA ADMISSÍVEIS

Os cenários analisados definindo as fases ou condições de carregamento encontram-se resumidos na Tabela 13.2, estando os Fatores de Segurança Mínimos admissíveis em conformidade com a NBR 13.0128/2025.

Para todos as seções, simulou-se os cenários representando a condição normal, extrema e com solicitação sísmica.

A condição não drenada é intrínseca a um determinado tipo de material (granulometria, índice de vazios, permeabilidade, saturação, etc.), quando exposto a uma solicitação ou carregamento rápido, caracterizado, por exemplo, por alteamentos ou elevações da freática interna. Para a condição atual da barragem não são observadas tais características, a exceção dos rejeitos do reservatório.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 13.2 - Cenários e Fatores de Segurança Mínimos Admissíveis

FASE OU CONDIÇÃO	RUPTURA	TALUDE	FS MÍNIMO	APLICAÇÃO
Operação com rede de fluxo em condição extrema de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Jusante	1,3	Sim
Operação com rede de fluxo em condição normal	Maciço	Jusante	1,5	Sim
		Entre bermas	1,3	
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Montante e Jusante	1.1	Sim

A condição **final de construção** não é aplicável a essa barragem pela idade do último alteamento.

A condição de **rebaixamento rápido** não foi considerada na análise em razão da inexistência de lâmina d'água significativa no reservatório e da ausência de condição operacional que implique redução abrupta do nível d'água. A condição hidráulica atual é caracterizada pela presença de rejeito no reservatório, com o nível d'água situado abaixo da superfície do depósito e distribuição de poropressões associada à condição piezométrica atual da estrutura. Dessa forma, a análise de estabilidade foi realizada considerando-se a condição hidráulica atualmente estabelecida, sem a aplicação de um cenário de rebaixamento rápido.

A condição de **operação normal com nível d'água máximo**, na prática é representada de forma muito próxima da condição "normal", em termos de regime de fluxo, gerando uma duplicidade de cenários.

Por fim, o modo de falha **por liquefação** não é um modo crível para essa barragem (ver item 0 deste relatório), o que torna não aplicável essa condição de análise de estabilidade.

13.6. RESULTADOS

Na sequência representada da Figura 13.1 até a Figura 13.18 se encontram os resultados das análises de estabilidade da Barragem Califórnia, para os diferentes cenários analisados e descritos anteriormente.

Na Tabela 13.3 estão os resultados das análises de estabilidade realizadas. Conforme pode ser verificado, em todos os casos, os fatores de segurança obtidos estão dentro dos limites aceitáveis estipulados.

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 13.3 – Resultados das análises de estabilidade

Cenário	Seção	Circular			Não Circular		
		Spencer	GLE/M-P	Sarma	Spencer	GLE/M-P	Sarma
Condição normal	A-A'	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Condição extrema de operação, nível máximo do NA		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Solicitação sísmica, na condição extrema de operação		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Condição normal	B-B'	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Condição extrema de operação, nível máximo do NA		1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Solicitação sísmica, na condição extrema de operação		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Condição normal	C-C'	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Condição extrema de operação, nível máximo do NA		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Solicitação sísmica, na condição extrema de operação		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

Notas:

- (1) Os valores destacados são os mínimos obtidos pelos métodos Spencer, GLE/Morgenstern-Price e Sarma.
(2) A utilização de uma casa decimal está de acordo com a ABNT NBR 13.028:2025.

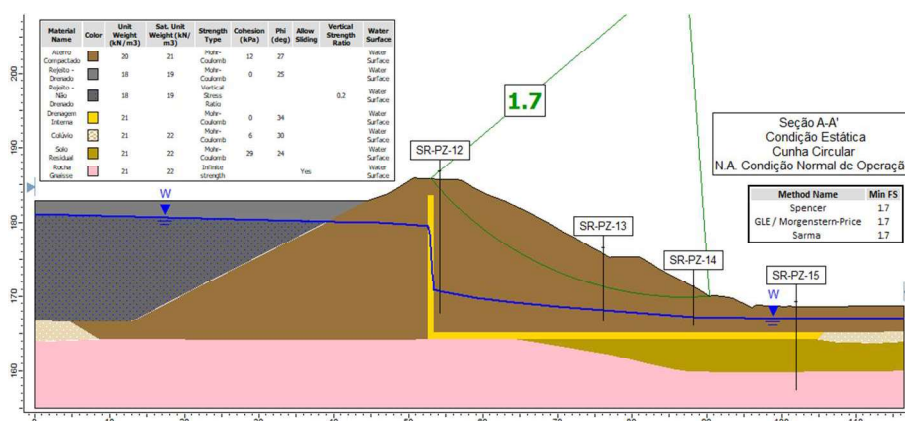


Figura 13.1 - Análise de estabilidade da seção A-A' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura circular

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

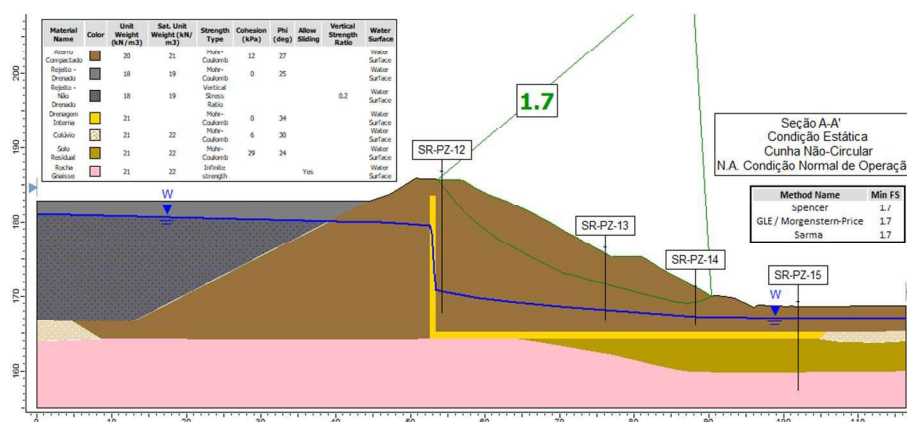


Figura 13.2 - Análise de estabilidade da seção A-A' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura não circular

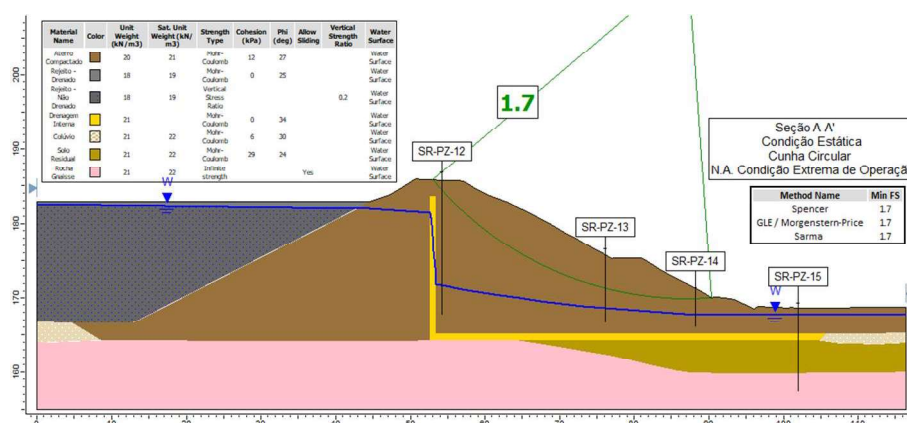


Figura 13.3 - Análise de estabilidade da seção A-A' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura circular

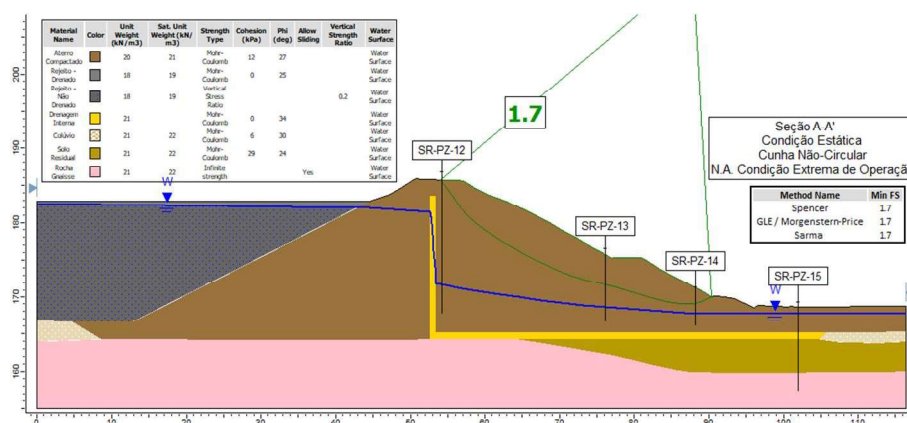


Figura 13.4 - Análise de estabilidade da seção A-A' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura não circular

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

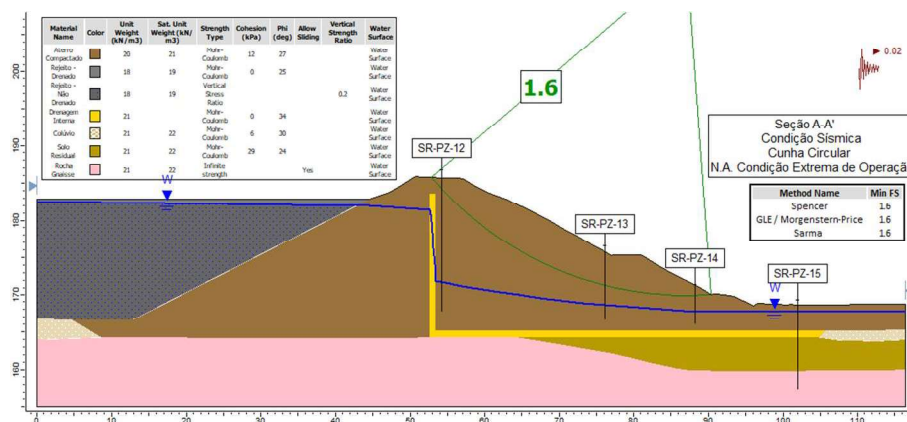


Figura 13.5 - Análise de estabilidade da seção A-A' sob condição sísmica, na condição extrema de operação, considerando superfície de ruptura circular

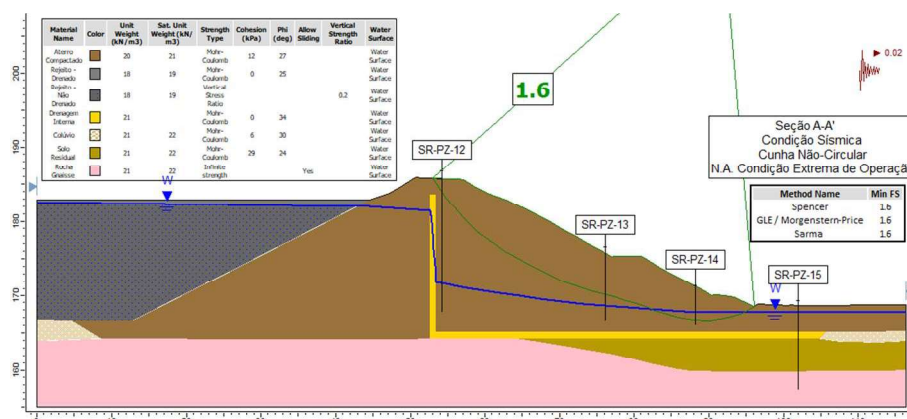


Figura 13.6 - Análise de estabilidade da seção A-A' sob condição sísmica, considerando superfície de ruptura não circular

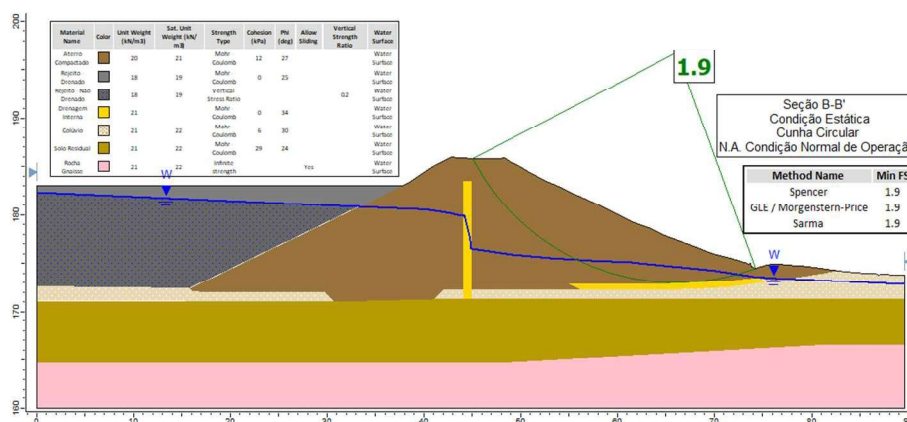


Figura 13.7 - Análise de estabilidade da seção B-B' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura circular

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

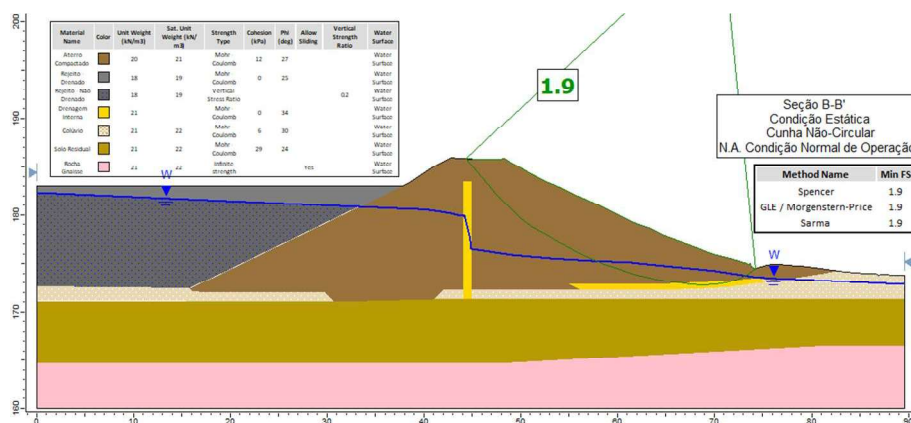


Figura 13.8 - Análise de estabilidade da seção B-B' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura não circular

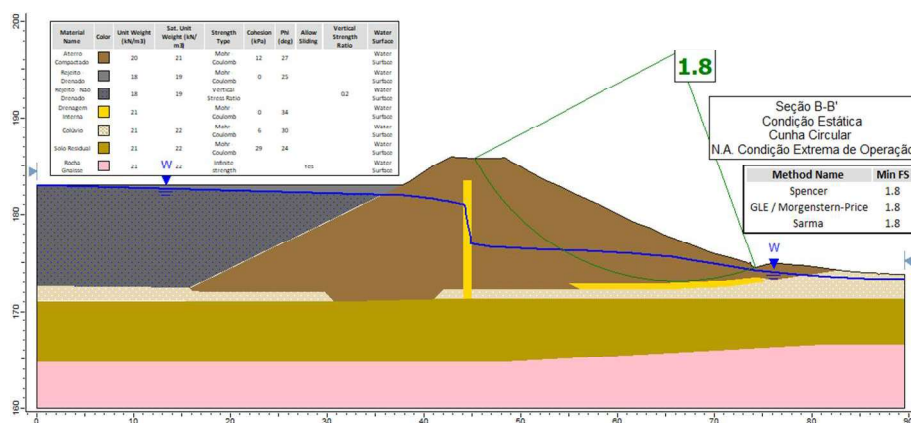


Figura 13.9 - Análise de estabilidade da seção B-B' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura circular

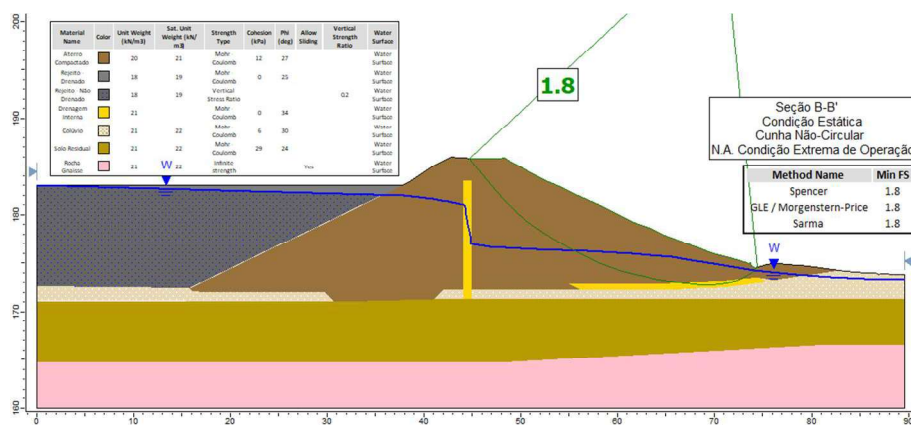


Figura 13.10 - Análise de estabilidade da seção B-B' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura não circular

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

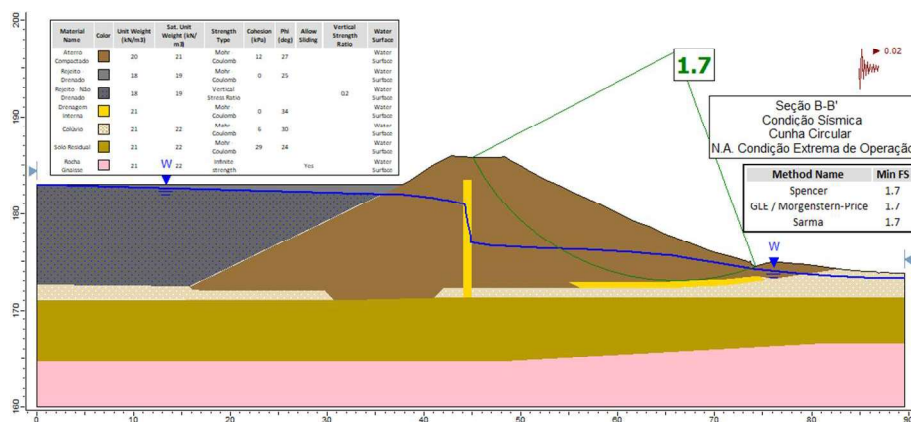


Figura 13.11 - Análise de estabilidade da seção B-B' sob condição sísmica, considerando superfície de ruptura circular

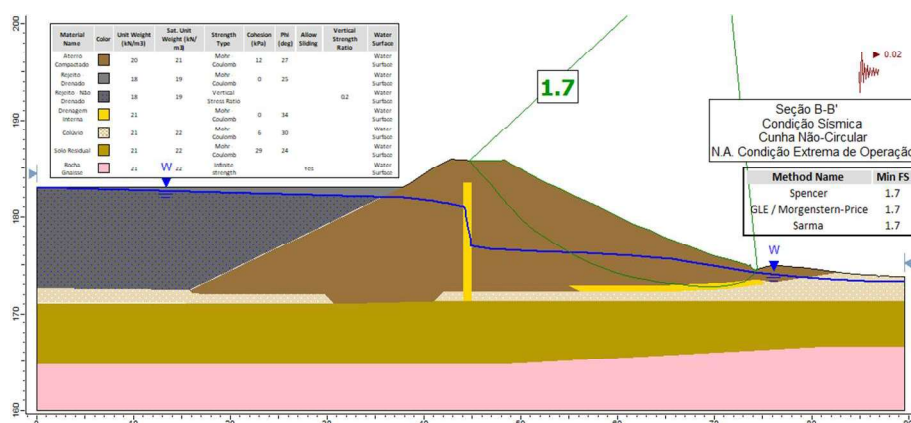


Figura 13.12 - Análise de estabilidade da seção B-B' sob condição sísmica, considerando superfície de ruptura não circular

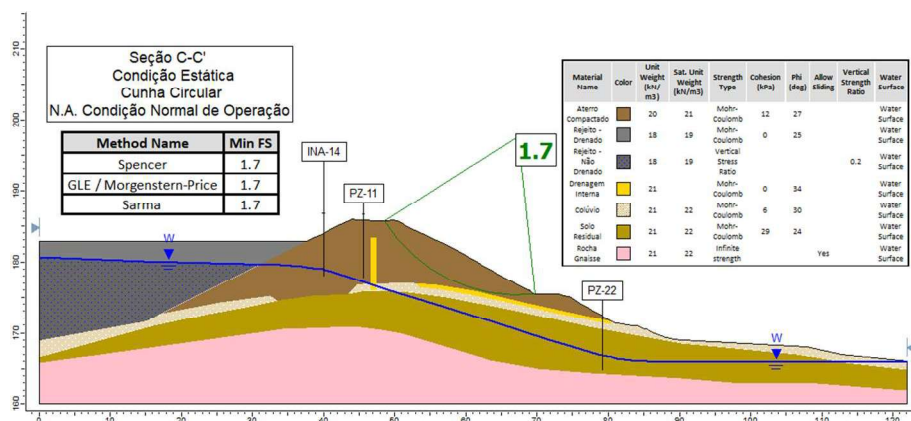


Figura 13.13 - Análise de estabilidade da seção C-C' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura circular

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

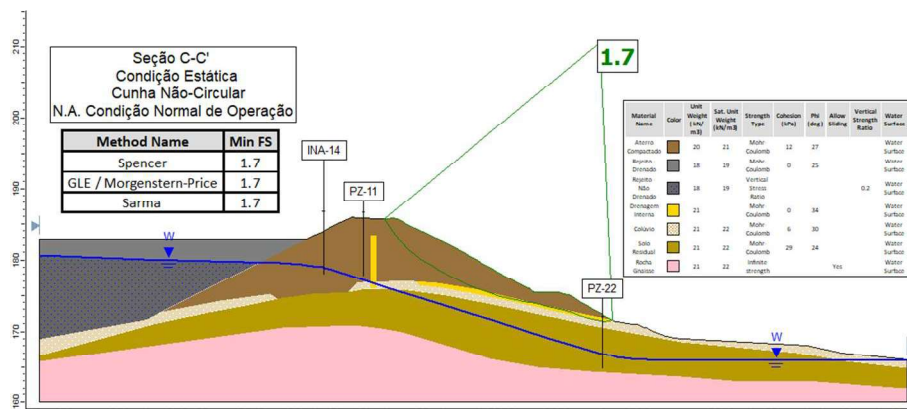


Figura 13.14 - Análise de estabilidade da seção C-C' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura não circular

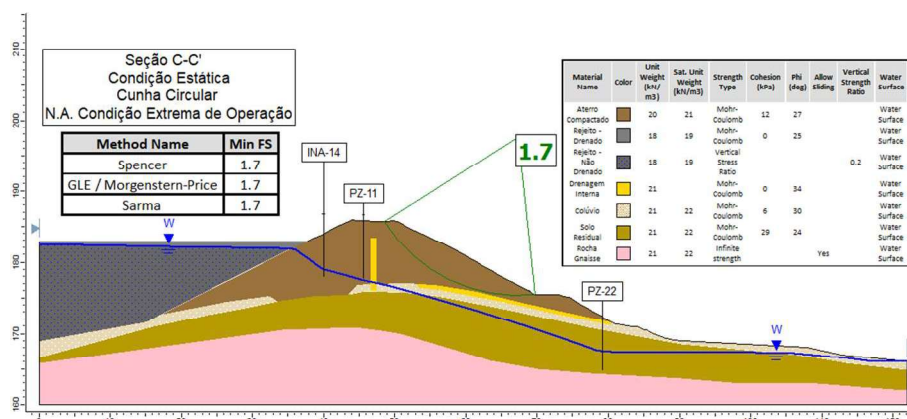


Figura 13.15 - Análise de estabilidade da seção C-C' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura circular

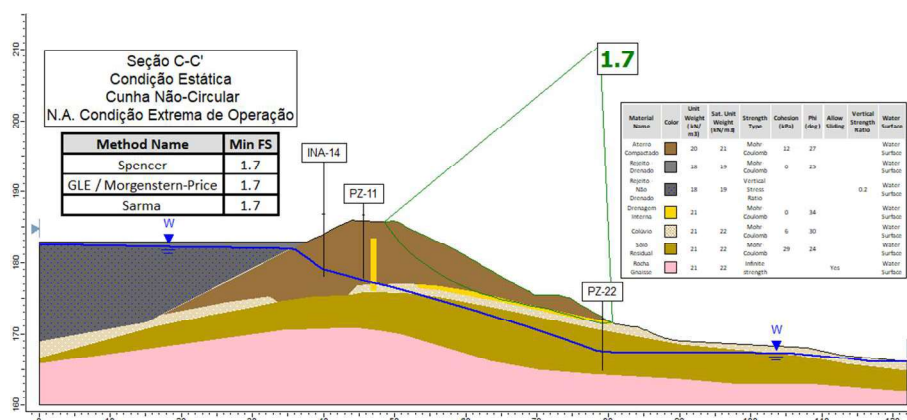


Figura 13.16 - Análise de estabilidade da seção C-C' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura não circular

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

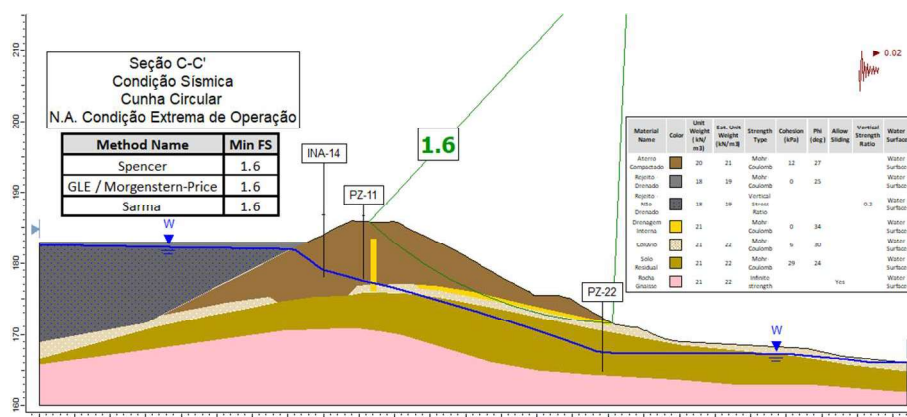


Figura 13.17 - Análise de estabilidade da seção C-C' sob condição sísmica, considerando superfície de ruptura circular

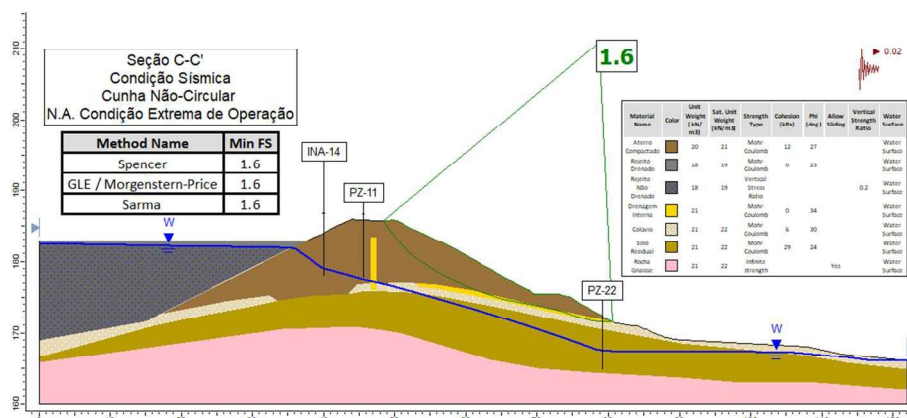


Figura 13.18 - Análise de estabilidade da seção C-C' sob condição sísmica, considerando superfície de ruptura não circular

13.7. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE ESTRUTURAL

Como podem ser observados, os fatores de segurança atendem aos requisitos da norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 13.028/2025, dos guias da *Canadian Dam Association* – CDA e da *International Commission on Large Dams* - ICOLD.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

14. AUSCULTAÇÃO

A avaliação da auscultação da Barragem Califórnia contempla o acompanhamento dos instrumentos instalados na estrutura e a análise dos dados obtidos a partir de suas leituras. O monitoramento dos instrumentos é realizado pela equipe técnica interna da Nacional de Grafite, com periodicidade definida de acordo com o tipo de instrumento, podendo ser quinzenal ou diária. Os resultados do monitoramento são compartilhados mensalmente com o EdR para aferição de desempenho, subsidiando a avaliação das condições de segurança e estabilidade da barragem.

A instrumentação da Barragem Califórnia é composta por:

- 3 medidores de nível d'água;
- 21 piezômetros tipo Casagrande;
- 11 marcos superficiais;
- 5 medidores de vazão
- 1 régua de leitura do nível d'água do reservatório;
- 1 pluviômetro.

A locação dos instrumentos citados pode ser observada na Figura 14.1 a seguir.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

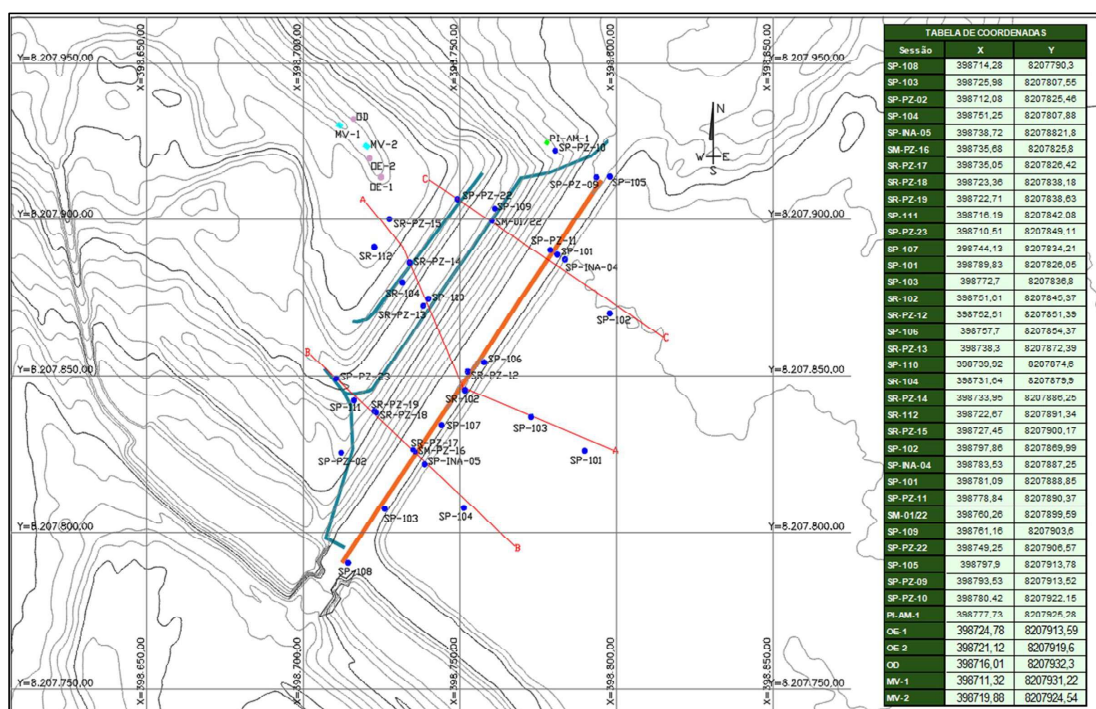


Figura 14.1 – Planta de localização dos instrumentos

NG-131-RTSB-CA-RL-R0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

O monitoramento da instrumentação da Barragem Califórnia é realizado, no mínimo, com periodicidade quinzenal, abrangendo as leituras dos piezômetros, medidores de nível d'água e medidores de vazão, bem como o acompanhamento dos marcos superficiais. Os dados obtidos são registrados em fichas e planilhas de acompanhamento e utilizados na avaliação das condições de segurança da estrutura.

As informações provenientes das leituras dos instrumentos e das inspeções são encaminhadas para avaliação técnica, subsidiando a elaboração dos relatórios de inspeção e avaliação das condições de estabilidade da barragem. Conforme o Manual de Operações, os dados são encaminhados quinzenalmente ao projetista ou prestador de serviço especializado para avaliação.

Para o acompanhamento do reservatório, é realizada a medição quinzenal do nível do lago, sendo indicada como referência operacional a manutenção do nível abaixo da cota 182,65 m. O pluviômetro instalado próximo ao escritório administrativo é utilizado para o acompanhamento e registro dos índices pluviométricos diários.

O sistema de monitoramento contempla ainda o registro e a avaliação das ocorrências identificadas durante as inspeções, com encaminhamento das eventuais anormalidades ao responsável técnico pela barragem para adoção das providências cabíveis.

Os resultados apresentados nos itens a seguir abrangem o período de 2023 a 2026, permitindo uma melhor visualização do comportamento dos parâmetros monitorados. Porém, o banco de dados de leitura da instrumentação possui registros desde 2001.

A atualização dos dados foi realizada com base nos documentos FRM 06-07-26, FRM 20-07-2026, FIR e EC 06-07-2026, FIR e EC 20-07-2026 e GF35Mn-R17 - Califórnia 20-07-2026.

14.1. MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA (MNA)

Estão instalados 03 (três) medidores de nível de água na estrutura. Os resultados das leituras são compilados no gráfico da Figura 14.3 a seguir.

Cabe ressaltar que os medidores MNA01 e MNA02 estão inoperantes, atualmente apenas o MNA03, MNA04 e MNA05 apresentam medidas.

14.2. PIEZÔMETROS

O resultado do monitoramento dos piezômetros (PZC-2, PZC-3, PZC-4, PZC-5, PZC-6, PZC-7, PZC-8, PZC-9, PZC-10, PZC-11, PZC-12, PZC-13, PZC-14, PZC-15, PZC-16, PZC-17, PZC-18, PZC-19, PZC-20, PZC-22, PZC-23) se encontra detalhado na Figura 14.4.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

14.3. MARCOS SUPERFICIAIS

Os resultados do monitoramento dos marcos topográficos superficiais (MS-1, MS-2, MS-3, MS-4, MS-5, MS-6, MS-7, MS-8, MS-9, MS-10, MS-11), de leitura automatizada se encontram na Figura 14.5.

Conforme o documento GF35Mn-R17 - Califórnia 20-07-2026, os deslocamentos se encontram dentro dos níveis de referência esperados.

O sistema de leitura automatizada dos marcos superficiais está instalado na cabine de instrumentação, conforme apresentado na Figura 14.2.



Figura 14.2 - Cabine de instrumentação para leitura automatizada dos marcos superficiais

14.4. MEDIDOR DE VAZÃO

A Barragem Califórnia possui 5 (cinco) medidores de vazão que coletam água do tapete drenante e das caixas coletoras das ombreiras (MV-02, OE-1, OE-2, OE-3 e OD-1).

O MV-2 (triangular), mede as vazões do dreno de fundo e dos drenos do lado esquerdo.

O MV-1 não está sendo lido para não interferir na interpretação do MV-2.

Os resultados das vazões obtidas nas leituras se encontram na Figura 14.6.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

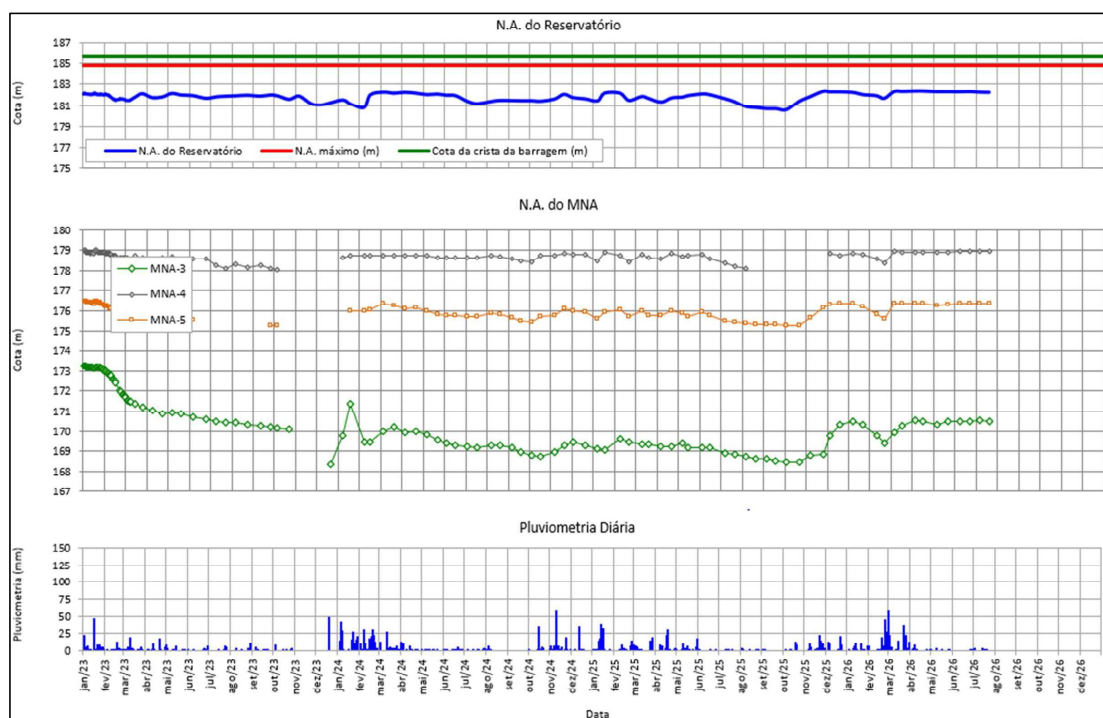


Figura 14.3 – Leitura dos MNA's

NG-131-RTSB-CA-RL-R0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

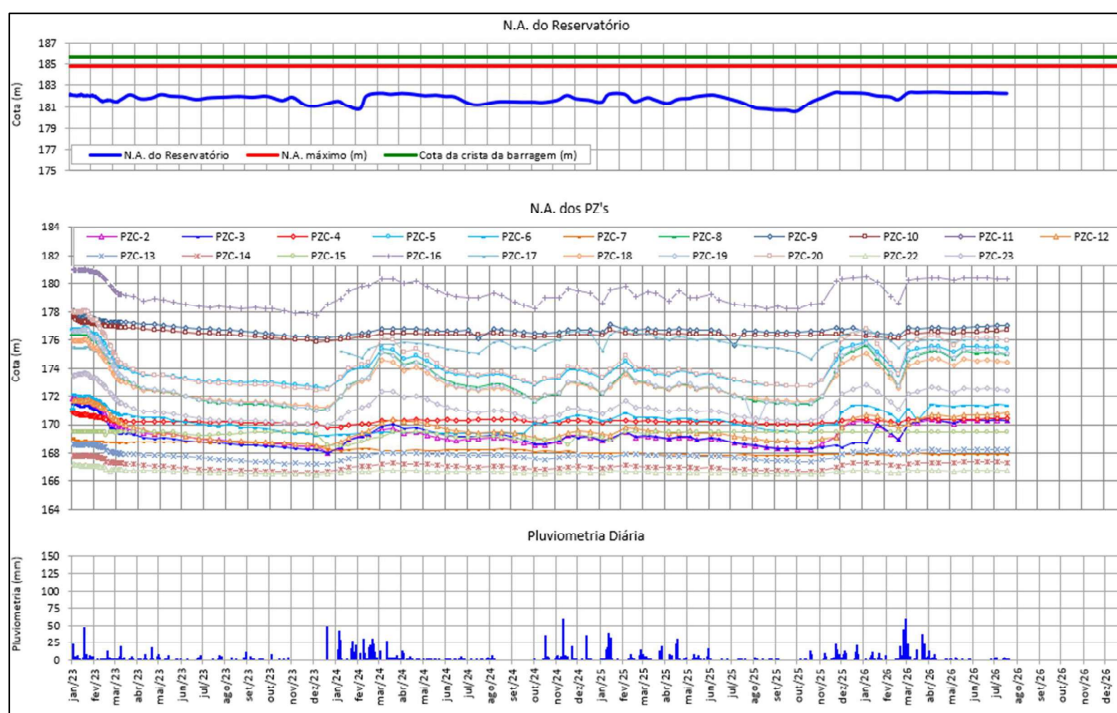


Figura 14.4 – Monitoramento dos piezômetros

NG-131-RTSB-CA-RL-R0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

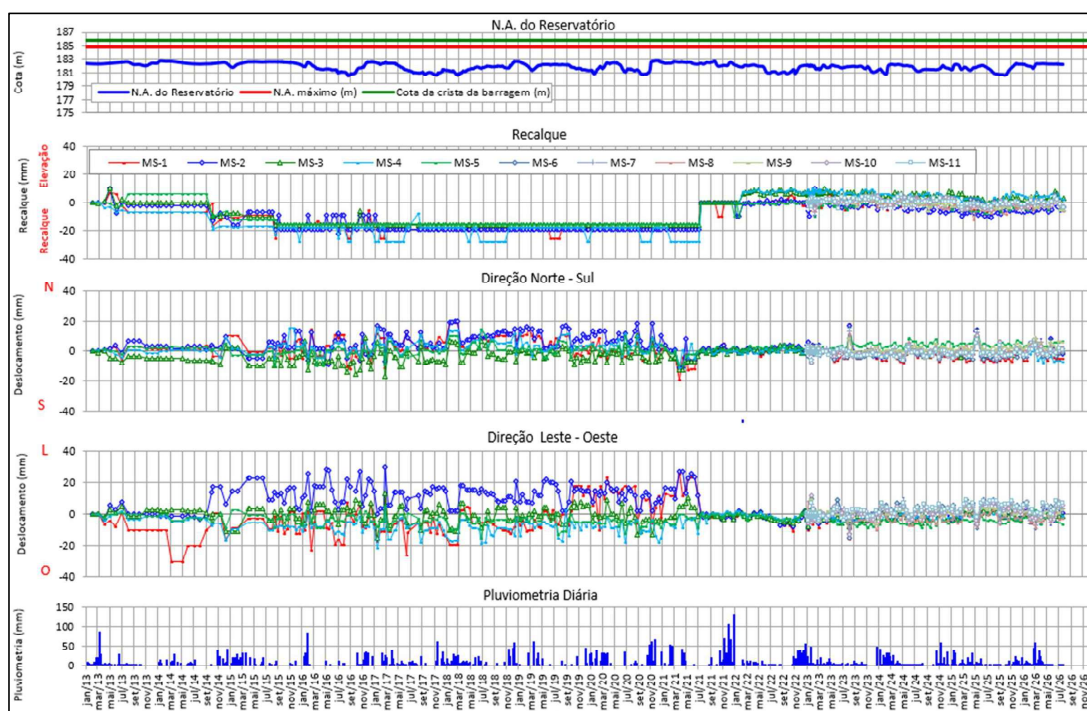


Figura 14.5 – Dados do monitoramento dos marcos superficiais

NG-131-RTSB-CA-RL-R0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

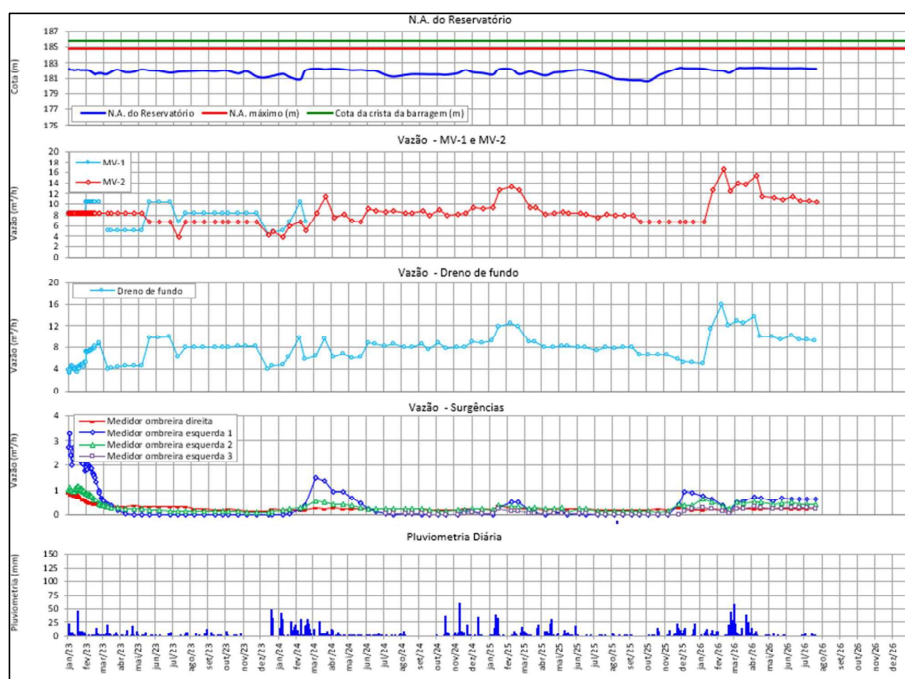


Figura 14.6 – Vazão medida nas caixas coletoras

NG-131-RTSB-CA-RL-R0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

15. CARTA DE RISCO

A avaliação das condições de segurança da Barragem Califórnia é realizada com auxílio dos níveis de controle estabelecidos para a instrumentação geotécnica, conforme critérios apresentados no Manual de Operações da estrutura. Esses níveis constituem referências para interpretação dos resultados do monitoramento e para identificação de alterações que possam indicar condições distintas daquelas consideradas normais para a barragem.

São considerados três níveis de segurança: normal, alerta e emergência. Os critérios para definição desses níveis são apresentados na Tabela 15.1.

Tabela 15.1 - Critérios para definição dos níveis de segurança (Adaptado de GEOCONSULTORIA, 2026)

Nível de segurança	Critério
Normal	O valor medido se situa dentro da faixa histórica do comportamento; ou, o valor medido está fora da faixa histórica, mas está respondendo a causas conhecidas e controladas.
Alerta	O valor medido se situa fora da faixa histórica, as causas não foram identificadas, mas as medições não mostram evolução; ou, as causas foram identificadas, foram tomadas ações mitigadoras, não estão surtindo efeito e as medições mostram evolução.
Emergência	As causas foram identificadas, foram tomadas ações mitigadoras, mas não estão surtindo efeito; as medições mostram evolução e a situação pode levar à ruptura da barragem.

A seguir, são apresentados os modos de ruptura considerados e os respectivos níveis de referência para diferentes situações de segurança da barragem.

Galgamento

Conforme indicado no RISR, o modo de ruptura por galgamento pode ser descartado em função da elevada segurança hidráulica da barragem, inclusive na ocorrência de eventual obstrução do extravasor.

Ainda assim, foram estabelecidos níveis de referência para o nível d'água do reservatório. Os valores correspondentes aos níveis normal, alerta e emergência são apresentados na Tabela 15.2.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 15.2 - Níveis de referência para o nível d'água do reservatório (Adaptado de GEOCONSULTORIA, 2026)

Nível de segurança	Nível d'água do reservatório
Nível normal	Até 184,8 m
Nível de alerta	Até 185,0 m
Nível de emergência	Até 185,2 m

Erosão interna

Para o modo de ruptura por erosão interna, não há elementos que permitam associá-lo aos níveis piezométricos ou a outro tipo de instrumentação.

Nesse caso, a avaliação considera a inspeção visual, com identificação de surgências nos taludes da barragem ou no terreno de fundação e verificação do carreamento de sólidos. A quantidade de material carreado pode ser determinada por medição ou com o uso de peneiras de pequena abertura, do tipo malha 200 ou 325, ou ainda avaliada com base em medidas de turbidez.

Os critérios associados aos níveis normal, alerta e emergência para esse modo de ruptura são apresentados na Tabela 15.3.

Tabela 15.3 - Níveis de segurança para o modo de ruptura por erosão interna (Adaptado de GEOCONSULTORIA, 2026)

Nível de segurança	Critério
Normal	Inspeção não indica nenhuma feição de erosão interna.
Alerta	Inspeção indica surgências no talude da barragem ou no terreno de fundação, com carreamento de material.
Emergência	A vazão está aumentando, a quantidade de sólidos carreados está aumentando, as ações tomadas para controlar a ocorrência não surtem efeito, e a evolução do processo pode levar à ruptura da barragem.

Deformação

Para o critério de deformação, os níveis de referência foram estabelecidos a partir dos valores máximos e mínimos das cotas registradas nos marcos.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Para cada marco, foi calculada a diferença entre esses valores e, posteriormente, determinada a média das cotas medidas. Ao valor médio foi acrescentada 60% da diferença obtida, estabelecendo-se a faixa esperada de variação.

Os critérios definidos para os níveis normal, alerta e emergência são apresentados na Tabela 15.4.

Tabela 15.4 - Níveis de segurança associados ao critério de deformação (Adaptado de GEOCONSULTORIA, 2026)

Nível de segurança	Critério
Nível normal	O valor medido da cota está dentro do intervalo.
Nível de alerta	O valor medido da cota está fora do intervalo, ou ainda, mesmo que dentro do intervalo, vem mostrando tendência de redução da cota.
Nível de emergência	A tendência se pronuncia, primeiro com velocidade constante e, depois, com velocidade aumentada (aceleração).

Quando as medições se enquadram nos níveis de alerta ou emergência, deve ser adotada frequência diária de medição, acompanhada de inspeção de campo.

A Tabela 15.5 apresenta a faixa de valores de referência dos marcos superficiais, incluindo os valores mínimos, médios e máximos medidos e os respectivos limites da faixa de valores.

Os valores apresentados na tabela podem ser considerados como níveis de referência para a avaliação de deformações ou recalques. Entretanto, esses parâmetros não devem ser utilizados como referência para deformações decorrentes de cisalhamento com formação de trincas, uma vez que os mecanismos de desenvolvimento e os valores dos deslocamentos são distintos, não havendo modelos que permitam estabelecer valores-limite para essas situações.

Nesses casos, as inspeções de campo assumem papel importante na identificação de deformações que possam representar condições de colapso.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Tabela 15.5 - Faixa de valores – MS's (Adaptado de GEOCONSULTORIA, 2026)

MS	Valores medidos			Faixa de valores	
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Máximo
MS-1	185,24	185,746	186,072	185,247	186,246
MS-2	184,86	185,634	186,129	184,872	186,395
MS-3	184,99	185,743	186,226	185,002	186,485
MS-4	184,94	185,623	186,059	184,952	186,295
MS-5	184,79	185,563	186,051	184,807	186,32
MS-6	175,23	175,395	185,24	169,389	181,401
MS-7	175,24	175,247	175,25	175,241	175,253
MS-8	175,2	175,207	175,211	175,2	175,213
MS-9	174,932	174,936	174,938	174,932	174,939
MS-10	170,165	170,17	170,174	170,165	170,175
MS-11	169,772	169,778	169,781	169,773	169,783

Cisalhamento

Para o critério de cisalhamento, foi utilizada a Seção A como referência para o estabelecimento dos níveis de referência dos piezômetros e indicadores de nível d'água. Os níveis de segurança foram definidos em função dos fatores de segurança (FS), conforme apresentado na Tabela 15.6.

Tabela 15.6 - Níveis de segurança em função dos fatores de segurança (FS) para o critério de cisalhamento (Adaptado de GEOCONSULTORIA, 2026)

Nível de segurança	Fator de segurança (FS)
Normal	$FS \geq 1,5$
Alerta	$1,3 < FS < 1,5$
Emergência	$1,1 < FS < 1,3$

Ressalta-se que a estabilidade da barragem é influenciada pela variação de toda a superfície freática, e não pela variação isolada de cada instrumento.

Assim, a elevação da cota do nível d'água de um piezômetro acima dos valores indicados, sem alteração dos demais instrumentos da seção considerada, não implica, isoladamente, que o fator de segurança resultante corresponda aos limites dos níveis de segurança apresentados.

Portanto, os níveis de referência devem ser utilizados em conjunto com os dados de projeto, as condições de operação e as inspeções de campo.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

16. SEGURANÇA OPERACIONAL

De acordo com o Manual de Operações da Barragem Califórnia, Revisão 03, de fevereiro de 2020 a operação da Barragem Califórnia envolve o transporte e a disposição dos rejeitos gerados no processo de beneficiamento. O rejeito é direcionado por canaleta e tubulação até a casa de bombas, onde é bombeado por uma tubulação de PEAD, com diâmetro de 8", para a Planta de Tratamento de Rejeitos (CDE), conforme apresentado na Figura 16.1.

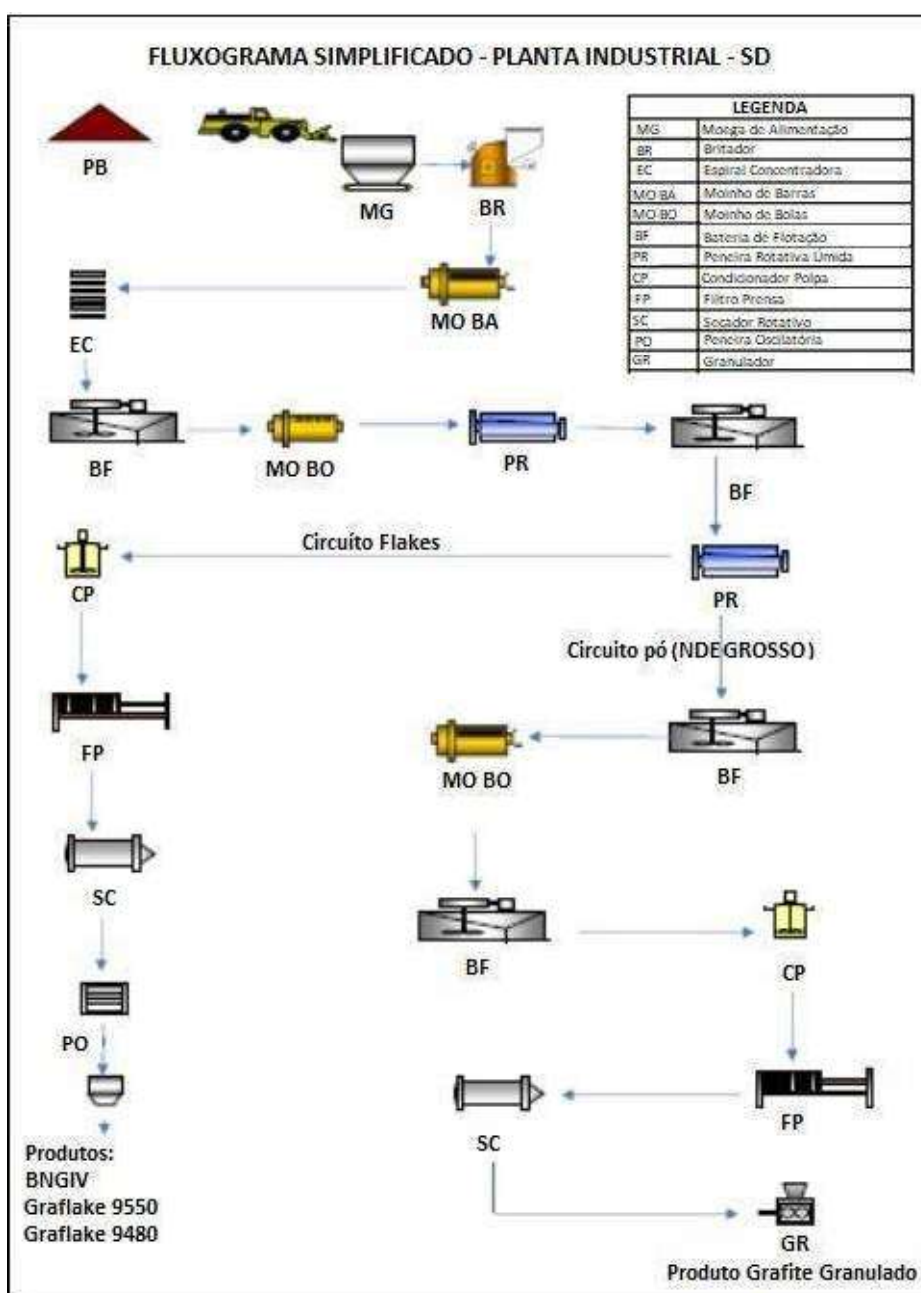


Figura 16.1 - Fluxograma simplificado da planta industrial

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

A segurança operacional da barragem é acompanhada por meio de inspeções de campo e do monitoramento da instrumentação instalada. O Manual de Operações estabelece a realização de inspeções quinzenais, o acompanhamento dos índices de pluviometria, do nível do lago e dos marcos superficiais.

As inspeções devem contemplar, entre outros aspectos, as condições do extravasor, surgências de água, nível da barragem, rachaduras, trincas e presença de animais. Eventuais anormalidades devem ser comunicadas ao responsável técnico da barragem e registradas em planilha própria.

O monitoramento quantitativo inclui a leitura de piezômetros, medidores de nível d'água, medidores de vazão dos drenos e o acompanhamento dos marcos superficiais, com o objetivo de identificar movimentações do maciço. Os dados obtidos são registrados para avaliação do comportamento da barragem.

A instrumentação instalada compreende marcos superficiais, piezômetros Casagrande, indicador de nível, drenos controlados com medição, réguas de medição e pluviômetro.

A barragem é acompanhada pela Geoconsultoria, de maneira contínua. O acompanhamento prevê a avaliação da instrumentação e das inspeções de campo, caracterizando a segurança e a estabilidade da estrutura. De posse dos dados do monitoramento, a Geoconsultoria executa a avaliação mensal do comportamento da barragem. Mensalmente é emitido um parecer formal que avalia a segurança da mesma. É também avaliado o andamento das ações recomendadas para manutenção da adequada condição de segurança da estrutura. Em função desta análise conjunta, a Geoconsultoria classifica a condição de segurança da barragem com base em critérios próprios.

A avaliação mensal, documento técnico, é enviada à equipe de segurança da estrutura e à Gerência Geral da Unidade. Um resumo da avaliação, em forma de Farol, é encaminhado para a Diretoria Corporativa da empresa.

A metodologia de avaliação da segurança atualmente empregada é continuada, pois possibilita que eventuais problemas com a estrutura sejam detectados rapidamente, permitindo ações imediatas e impedindo-os de evoluir. Dessa forma, tem-se uma gestão preventiva de segurança da barragem.

Dessa forma, a segurança operacional da Barragem Califórnia está fundamentada em procedimentos periódicos de inspeção visual e monitoramento instrumental, possibilitando o acompanhamento das condições da estrutura e o registro de eventuais anormalidades para avaliação e adoção das providências cabíveis.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

17. CONCLUSÃO

Com base na análise da documentação técnica disponível, nos registros de inspeção e monitoramento, nos estudos de segurança existentes e nas condições observadas durante a visita técnica realizada pela equipe da 3EM, conclui-se que a Barragem Califórnia apresenta condições satisfatórias de segurança e conservação no período avaliado.

As inspeções de campo não evidenciaram anomalias relevantes capazes de comprometer a integridade ou o desempenho da estrutura. De modo geral, crista, taludes, ombreiras, sistemas de drenagem, extravasor, instrumentação e demais componentes inspecionados apresentaram condições satisfatórias de conservação. No dreno de fundo foi observada apenas vazão residual de pequena magnitude, com aspecto límpido e sem evidências de carreamento de sólidos.

Os resultados do monitoramento e da auscultação também indicam comportamento satisfatório da barragem, não sendo identificadas tendências ou alterações que indiquem evolução desfavorável das condições de segurança. A avaliação integrada dos registros de instrumentação e das inspeções constitui, portanto, elemento consistente para o acompanhamento do comportamento da estrutura.

Sob o aspecto hidrológico-hidráulico, os estudos disponíveis indicam condições adequadas para a passagem da cheia de projeto, com capacidade do sistema extravasor e borda livre compatíveis com o cenário analisado. Da mesma forma, não foram identificados, a partir das informações avaliadas, indícios de desenvolvimento dos principais modos de falha considerados para a estrutura.

As recomendações provenientes da auditoria anterior foram integralmente atendidas, destacando-se que estas possuem caráter predominantemente rotineiro e preventivo, relacionado às atividades de conservação, inspeção e monitoramento, não estando associadas à ocorrência de anomalias indicativas de comprometimento da segurança da barragem.

Diante do conjunto de informações analisadas, não foram identificadas condições que indiquem comprometimento da segurança da Barragem Califórnia no período abrangido por este RTSB. Recomenda-se, portanto, a continuidade das rotinas de inspeção, monitoramento, manutenção e conservação da estrutura e de seus dispositivos associados, de forma a assegurar a manutenção das condições satisfatórias atualmente observadas. Além dessas atividades, é importante continua monitorando e aplicando medidas de controle da surgência identificada a jusante da ombreira esquerda da barragem.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

18. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Além dos documentos listados no próximo item, foram também utilizados os documentos e fontes de domínio público abaixo relacionados, a saber:

- BELÉM, J. Estudo geológico do Complexo Jequitinhonha e seu potencial grafitífero. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – SIG: Folha SE.24 – Rio Doce. Escala 1:1.000.000. Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum WGS 84 (EPSG:4326). 2010.
- DACONTI, C. Geologia, petrografia e potencial econômico do Complexo Jequitinhonha. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- FARIA, A. P. Petrografia dos gnaisses grafitosos da região de Salto da Divisa. 1977. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1977.
- FARIA, L. C. O Complexo Jequitinhonha e as mineralizações de grafita associadas. 1997. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1997.
- FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Termo de referência para a elaboração do relatório técnico de auditoria de segurança de barragens. Versão 02/2023. Belo Horizonte: FEAM, 2023.
- MEHNERT, K. R. Migmatites and the origin of granitic rocks. Amsterdam: Elsevier, 1971.
- PEDROSA-SOARES, A. C.; WIEDEMANN-LEONARDOS, C. M. Evolution of the Arauaí Belt and its connection to the Ribeira Belt. In: CORDANI, U. G. et al. (org.). Tectonic evolution of South America. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2000. p. 265-285.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

19. LISTA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS

A Tabela 19.1 contém os dados fornecidos pela Nacional de Grafite para análise de performance da estrutura.

Tabela 19.1 – Dados fornecidos pela NGL para avaliação da estrutura

Documentos recebidos e analisados		
Arquivo	Conteúdo do documento	
Manual de Operações – Barragem Califórnia	Empresa	Nacional de Grafite
	Data	13/02/2020
	Referência	Manual de Operações – Barragem Califórnia – Rev. 3
GF35-RT-32	Empresa	Geoconsultoria
	Data	março/2026
	Referência	Relatório Técnico – RISR – ANM – 1º Semestre 2026 – Rev. 0
GF38-RT-01	Empresa	Geoconsultoria
	Data	mar/2023
	Referência	Relatório Técnico – Barragem Fazenda Califórnia – As Is – Rev. 3
GF35Mn-R17 - Califórnia 20-07-2026	Empresa	Nacional de Grafite
	Data	20/07/2026
	Referência	Verificação Hidráulica - Barragem Califórnia
FIR 06-07-2026	Empresa	Nacional de Grafite
	Data	06/07/2026
	Referência	Ficha de Inspeção Regular (FIR) - Barragem Califórnia - 1ª quinzena
FIR e EC	Empresa	Nacional de Grafite
	Data	20/07/2026
	Referência	Ficha de Inspeção Regular (FIR) - Barragem Califórnia - 2ª quinzena
FRM 06-07-2026	Empresa	Nacional de Grafite
	Data	06/07/2026
	Referência	Boletim de Leitura dos Instrumentos - 1ª quinzena
FRM 20-07-2026	Empresa	Nacional de Grafite
	Data	20/07/2026
	Referência	Boletim de Leitura dos Instrumentos - 2ª quinzena
NG-39-RPSB-CA-RL-R2	Empresa	3EM – Mineração e Geologia Ltda.
	Data	11/09/2024
	Referência	Revisão Periódica de Segurança de Barragem - Barragem Califórnia – Rev. 2
NG-97-PGR-CA-RL-R0	Empresa	3EM – Mineração e Geologia Ltda.
	Data	25/11/2025
	Referência	Processo de Gestão de Risco para Barragens de Mineração (PGRBM) - Barragem Califórnia – Rev. 0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

Documentos recebidos e analisados		
NG-75-E-PRO-DCE VI F1-RL-R0	Empresa	3EM – Mineração e Geologia Ltda.
	Data	22/04/2026
	Referência	Projeto Executivo da Pilha de Disposição Compartilhada de Estéril e Rejeito DCE-VI Fase 1 – Rev.0
GF35-RT-29	Empresa	Geoconsultoria
	Data	29/08/25
	Referência	Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragem (RTSB) - FEAM - Barragem Califórnia – Rev. 0
GF35-RT-33	Empresa	Geoconsultoria
	Data	27/03/26
	Referência	Relatório de Inspeção Semestral - RIS - FEAM - Barragem Califórnia - Ver. 0 - 1º Semestre 2026
NG-41-DB-CA-RL-R0	Empresa	3EM – Mineração e Geologia Ltda.
	Data	12/04/2024
	Referência	Estudo de Ruptura Hipotética/Dam Break - Barragem Califórnia – Ver. 0
NG-125-EdR-CA-RL-01-R0	Empresa	3EM – Mineração e Geologia Ltda.
	Data	14/08/2026
	Referência	Relatório Mensal de Acompanhamento Engenheiro de Registro - Barragem Califórnia – Rev. 0

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

20. ANEXO I - DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE

ANO BASE: 2026

SEMESTRE: 2º

Empreendimento: Nacional de Grafite Ltda

CNPJ: 21.228.861/0023-07

Município: Salto da Divisa - MG

Nome da barragem: Barragem Califórnia

Finalidade: Contenção de água e rejeitos

Categoria de risco: Baixo

Potencial de dano ambiental: Alto

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 agosto de 2026.

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:

- Combate às pragas (formigueiros e cupinzeiros - atividade de rotina (prazo 30/08/2026 a 30/08/2027);
- Manter a crista e os taludes da barragem roçados e limpos - atividade de rotina (prazo 30/08/2026 a 30/08/2027);
- Manter limpo o emboque do extravasor - atividade de rotina (prazo 30/08/2026 a 30/08/2027);
- Manter as ações de monitoramento (inspeções de campo quinzenais e medição dos instrumentos de auscultação - atividade de rotina (prazo 30/08/2026 a 30/08/2027);
- Monitorar e aplicar medidas de controle da surgência identificada a jusante da ombreira esquerda, especialmente, até o final do próximo período de chuvas (prazo 30/08/2026 a 30/04/2027).

Anexo, cópia da Anotação de Responsabilidade Técnica do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança.

Documento assinado digitalmente
 MARTA APARECIDA SAWAYA MIRANDA
Data: 28/08/2026 11:28:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marta Aparecida Sawaya Miranda
Geóloga / Geotécnica / MSc. em Eng. de Barragens
CREA: 77.793

Assinado de forma digital por
CLOVIS CORDEIRO RUDGE
RAMOS:21404667806
Dados: 2026.08.28 15:50:04 -03'00'

Clóvis Cordeiro Rudge Ramos
Diretor Presidente
214.046.678-06

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

21. ANEXO II – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA – ART



Anotação de Responsabilidade Técnica – ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20265234646

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

INICIAL

1. Responsável Técnico	
MARTA APARECIDA SAWAYA MIRANDA	
Título profissional: GEÓLOGA	RNP: 1405911336 Registro: MG0000077973D MG
Empresa contratada: 3EM - MINERACAO E GEOLOGIA LTDA	
Registro Nacional: 59134-MG	
2. Dados do Contrato	
Contratante: NACIONAL DE GRAFITE LTDA	CPF/CNPJ: 21.228.861/0023-07
Endereço: ESTRADA PIABANHA KM 18	Nº: S/N
Complemento:	Bairro: -
Cidade: SALTO DA DIVISA	UF: MG
	CEP: 39925000
Contrato: Não especificado	Celebrado em: 31/07/2026
Valor: R\$ 40.000,00	Tipo de contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado
Ação Institucional: Outros	
3. Dados da Obra/Serviço	
AVENIDA PORTUGAL	
Complemento: SALA 09 E 10	Nº: 2350
Cidade: BELO HORIZONTE	Bairro: JARDIM ATLÂNTICO
Data de Início: 03/08/2026	UF: MG
Previsão de término: 28/08/2026	CEP: 31560000
Finalidade: OUTROS	Coordenadas Geográficas: 0, 0
Proprietário: NACIONAL DE GRAFITE LTDA	Código: 31560-000
	CPF/CNPJ: 21.228.861/0023-07
4. Atividade Técnica	
14 - Elaboração	Quantidade
40 - Estudo > GEOTECNIA E GEOLOGIA DA ENGENHARIA > PRESSÕES SOBRE OS SOLOS E RESISTÊNCIA AO C/ALHAMENTO > #3,7,1 - DE ESTUDOS GEOTÉCNICOS	Unidade
	1,00 un
Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART	
5. Observações	
Elaboração de Relatório Técnico de Auditoria de Segurança da Barragem - RTSB - Barragem Califórnia da Nacional de Grafite em Salto Divisa, em atendimento a FEAM	
6. Declarações	
• Declaro estar ciente de que devo cumprir as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004. • Cláusula Compromissória: Qualquer conflito ou litígio originado do presente contrato, bem como sua interpretação ou execução, será resolvido por arbitragem, de acordo com a Lei no. 9.307, de 23 de setembro de 1996, por meio da Câmara de Mediação e Arbitragem - CMA vinculada ao CREA-MG, nos termos do respectivo regulamento de arbitragem que, expressamente, as partes declaram concordar. • Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que meus dados pessoais e eventuais documentos por mim apresentados nesta solicitação serão utilizados conforme a Política de Privacidade do CREA-MG, que encontra-se à disposição no seguinte endereço eletrônico: https://www.crea-mg.org.br/transparencia/legislacao/privacidade-dados. Em caso de cadastro de ART para PESSOA FÍSICA, declaro que informo ao CONTRATANTE e ao PROPRIETÁRIO que para a emissão desta ART é necessário cadastrar nos sistemas do CREA-MG, em campos específicos, os seguintes dados pessoais: nome, CPF e endereço. Por fim, declaro que estou ciente que é proibida a inserção de qualquer dado pessoal no campo "observação" da ART, seja meu ou de terceiros. • Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que não posso compartilhar a ART com terceiros sem o devido consentimento do contratante e/ou do(a) proprietário(a), exceto para cumprimento de dever legal.	
7. Entidade de Classe	
AEAEUFMG - Associação dos Ex-alunos da Escola de Engenharia da U.F.M.G.	

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <https://crea-mg.org.br/publico/>, com a chave: Dba7z
Impresso em: 26/08/2026 às 16:51:39 por: , ip: 148.102.234.48

www.crea-mg.org.br
Tel: 0800 031 2732

atendimento@crea-mg.org.br
Fax:

CREA-MG
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais



RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

108

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

22. ANEXO III – RELATÓRIO TÉCNICO FOTOGRÁFICO

22.1. CRISTA

A Figura 22.1, a seguir, apresenta a crista da barragem no dia da visita técnica realizada em agosto.

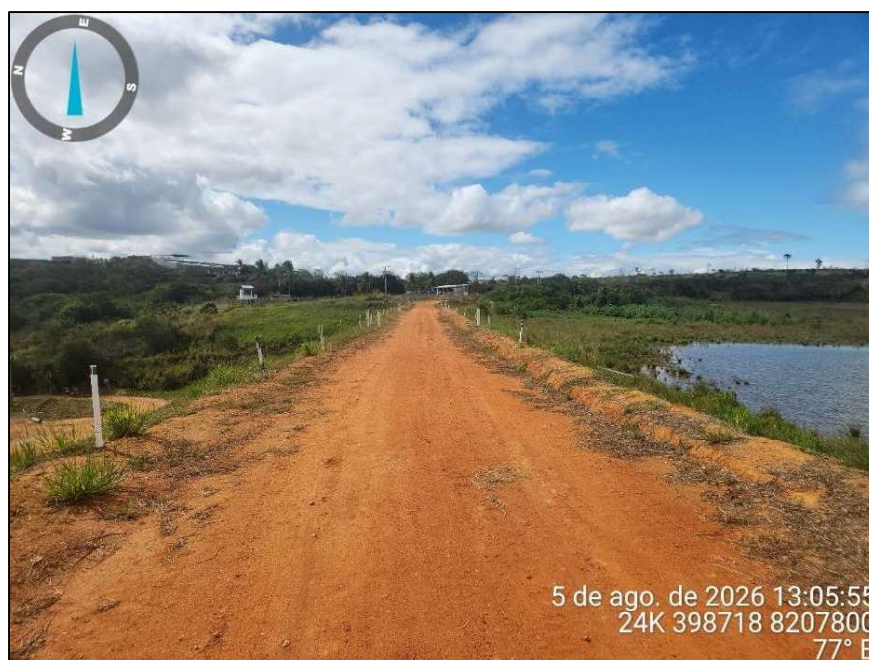


Figura 22.1 – Crista da Barragem Califórnia

22.2. RESERVATÓRIO

A Figura 22.2 mostra a situação do reservatório no dia da visita técnica.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

**Figura 22.2 – Reservatório da Barragem Califórnia****22.3. TALUDES**

As figuras (Figura 22.3 e Figura 22.4) mostram a situação dos taludes de jusante e montante, respectivamente, no dia da visita técnica.

**Figura 22.3 – Talude de montante da Barragem Califórnia**

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia

**Figura 22.4 – Talude de jusante da Barragem Califórnia****22.4. EXTRAVASOR**

Na Figura 22.5, encontram-se fotos do extravasor da Barragem Califórnia.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia



Figura 22.5 – Situação do canal extravasor da Barragem Califórnia

22.5. SAÍDA DO DRENO DE FUNDO

A Figura 22.6 apresenta o ponto de saída do dreno de fundo durante a visita técnica.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia



Figura 22.6 – Vista da saída do dreno de fundo da Barragem Califórnia

22.6. SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

As fotos que compõem a Figura 22.7 demonstram a situação dos dispositivos de drenagem no momento da inspeção de campo realizada pela equipe da 3EM.

Tema do relatório:

RTSB – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem – Barragem Califórnia



Figura 22.7 – Situação dos dispositivos de drenagem superficial da Barragem Califórnia

22.7. INSTRUMENTAÇÃO

A Figura 22.8 ilustra alguns dos instrumentos presentes na estrutura.



Figura 22.8 – Instrumentação da Barragem Califórnia registrada durante visita técnica